

博士論文

道路事業便益の動的評価手法に関する研究

小笹 俊成

広島大学大学院国際協力研究科

2014 年 9 月

道路事業便益の動的評価手法に関する研究

D 0 9 4 0 4 1

小笹 俊成

広島大学大学院国際協力研究科博士論文

2014 年 9 月

広島大学大学院国際協力研究科

論文名: 道路事業便益の動的評価手法に関する研究
学位の名称: 博士(工学)
学生番号: D094041
氏名: 小笹 俊成

平成26年 7月 22日

審査委員会

委員長・教授

藤原 章正



教授

張 峻屹



教授

金子 慎治



広島大学大学院工学研究院・准教授

塚井 誠人



東京工業大学大学院理工学研究科・教授

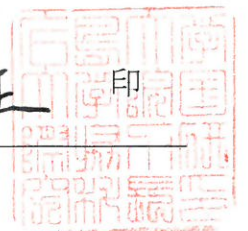
朝倉 康夫



平成26年 9月 5日

研究科長

藤原章正



A study on Dynamic Evaluation of Road Project Benefits

By Toshinari KOZASA

Abstract

This study proposes a dynamic evaluation model for the projects to link or to improve a road network around a metropolitan area. The proposed model will give an optimal sequence to implement the several projects with maximizing a net present value of the sequence. The proposed model enables to consider a network externality in traffic assignment due to the sequential implementation of the projects to change the reference road network. The applicability and effectiveness of the proposed model are confirmed by a hypothetical dataset and an empirical dataset around the Hiroshima metropolitan area.

In section 1 and 2, several worth tackling issues in cost benefit analysis were clarified by referring some conventional studies as follows; considering network externality, integration with facility construction projects, endogenous selection of project combination, general equilibrium model in traffic assignment, budget or other constraints and induced traffic during the step by step project implementation. Following to the summary, some purposes of this study and chapter organization were determined.

In section 3, a mathematical formulation to deal with the above six issues was made. The model consists of an objective function with several constraints, a sub model in traffic assignment, that in benefit evaluation and that in cost calculation. Since the proposed model is a dynamic integer programming, the optimal solution giving the project sequence is obtained by genetic algorithm.

In the following three sections, the effectiveness in proposed model were tested by using a hypothetical dataset. In section 4, a significance in considering network externality was analyzed. The sequences of projects and its net present values (NPV) were compared between the optimized solution by the proposed model and the order of projects given by the conventional evaluation procedure. The comparison of them showed that the proposed model outperformed in NPV. In the optimized sequence of projects, some projects to complete in short term were preceded even if its annual project benefit was not so large. Since such the sequence by the proposed model will never be obtained in the conventional evaluation procedure, a network externality among the projects should be considered to fix the sequence of road projects. In section 5, a significance to integrate facility construction projects at nodes with other road

projects at links was confirmed. An integration of facility construction projects with road projects was effective to give larger NPV by the comparison with the not-integrated scenario. Therefore, an appropriate coordination of facility projects with road projects seems important in road network planning. In section 6, a significance of endogenous selection in simultaneous implementation of several projects was confirmed. To combine several projects would give the economics as construction cost reduction or as shortening of the construction term. By adding some sets of projects to the conventional individual project candidates, the proposed model was simulated. The optimized sequence of the projects included a step by step improvement of a link. For example, in an expansion of a traffic lane, two lanes were firstly made and then they were expanded into four lanes. Such the combination of projects was empirically rational but not supported in the conventional cost-benefit analysis, while the proposed model would give the basis.

In the following two sections, an applicability of the proposed model for an empirical dataset was confirmed. In section 7, an effectiveness to consider induced traffic in the proposed model was tested. In order to apply the proposed model to shopping trips, a trip distribution model was refined to integrate trip generation with destination choice each. In this system, the trip generation model includes an accessibility to destination, and the destination choice model includes the utilities in both generalized trip cost and an attractiveness of the destination. The estimated parameters in trip distribution model gave rational signs, and the NPV by the proposed model was 20 % higher than that of conventional model. However, the fit of trip distribution model with observations was not so high around the destinations with short distance. In section 8, the trip distribution model was modified to include an attractiveness in variety of goods at the destination, which is discussed in spatial economic theory. According to the significance of the estimated parameters and the model fitness, the modified model was well performed than the model in section 7. A comparison between the planned project sequence in Hiroshima metropolitan area with the optimized project sequence showed that the latter gave higher NPV than the former.

In section 9, some conclusions and remaining issues were summarized. Through the section 4 to 8, the proposed dynamic evaluation model on a road network with network externality was clarified to be useful, since it can give a rational and plausible projects implementation sequence. The remaining issues are as follows; to confirm whether the introduction of other evaluation index to objective function is effective or not, to compare and clarify the pros and cons of the proposed model with the spatial general equilibrium model and to integrate the proposed model with land use-transportation model.

目次

論文の要旨	i
第1章 序論	1
1.1 研究の動機	1
1.2 実務における道路事業評価手法	2
1.2.1 実務における道路事業評価の変遷	3
1.2.2 実務における道路事業評価に係わる指摘	5
1.3 本研究の目的と位置づけ	8
1.3.1 本研究の目的	8
1.3.2 本研究の分析対象	10
1.3.3 本研究の位置づけ	11
1.4 本論文の構成	12
第1章の参考文献	14
第2章 既往の研究と本研究で扱う課題	15
2.1 ネットワーク外部性の実務的考慮	15
2.2 実務における道路事業評価方法	18
2.2.1 道路事業評価における費用便益分析の位置づけ	18
2.2.2 実務における費用便益分析の計算方法	19
2.2.3 費用便益分析における時間価値	22
2.3 道路事業評価に関わる既往の研究	24
2.3.1 動的な道路整備事業評価手法に関する既往研究	24
2.3.2 投資タイミングに関する既往研究	25
2.3.3 施設配置モデルに関する既往研究	26
2.3.4 消費者余剰アプローチによる政策評価の既往研究	26
2.3.5 応用一般均衡分析に関する既往研究	27
2.3.6 誘発交通量に関わる既往研究	28
2.4 本研究で扱う課題と検討方針	29
第2章の参考文献	31
第3章 道路事業便益の動的評価モデルの定式化	34
3.1 モデルの概要	34

3.2 動的な事業評価モデルの定式化	36
3.2.1 目的変数と制約条件	36
3.2.2 事業便益計算方法	38
3.2.3 プロジェクトの設定と事業費	41
3.2.4 事業区間の内生法方法	43
3.2.5 解析方法	44
第3章の参考文献	49
 第4章 道路事業の段階的採択時のネットワーク外部性の評価	50
4.1 ケーススタディの概要	50
4.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定	51
4.3 シミュレーションケースの設定	53
4.3.1 ケース設定	53
4.3.2 シミュレーションモデルの設定	54
4.3.3 モデル係数等の設定	57
4.4 シミュレーション結果	57
4.5 まとめ	62
第4章の参考文献	63
 第5章 道路整備に連動する施設整備事業を考慮した包括的評価	64
5.1 ケーススタディの概要	64
5.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定	66
5.3 シミュレーションケースの設定	67
5.3.1 ケース設定	67
5.3.2 シミュレーションモデルの設定	68
5.3.3 モデル係数等の設定	69
5.4 シミュレーション結果	70
5.5 まとめ	73
第5章の参考文献	74
 第6章 事業区間を生内法した動的評価	75
6.1 ケーススタディの概要	75
6.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定	76
6.3 シミュレーションケースの設定	77

6.3.1 ケース設定	77
6.3.2 シミュレーションモデルの設定	79
6.3.3 モデル係数等の設定	80
6.4 シミュレーション結果	81
6.4.1 動的評価の有効性検証	81
6.4.2 事業区間内生化の有効性検証	86
6.5 まとめ	92
第 6 章の参考文献	93
第7章 誘発交通を考慮した便益計測	94
7.1 ケーススタディの概要	94
7.2 本研究で取り扱う誘発交通と既往研究のレビュー	95
7.3 本章での適用モデル式	96
7.4 実証分析	98
7.4.1 分析概要	98
7.4.2 交通需要予測モデルの推定	99
7.4.3 現況再現精度の検証	101
7.4.4 道路整備による交通需要変化予測	102
7.4.5 便益試算	104
7.5 まとめ	104
第 7 章の参考文献	105
第8章 目的施設の集積の多様性を考慮した動的評価	106
8.1 多様な集積を考慮した誘発交通量予測モデルの定式化	107
8.2 買物交通を対象とした誘発交通量予測モデルの推定	108
8.2.1 分析データの概要	108
8.2.2 誘発交通量予測モデルの推定	110
8.3 目的施設の集積の多様性を考慮した動的な道路事業評価	116
8.3.1 実証分析の概要	116
8.3.2 実証分析の結果	118
8.4 まとめ	123
第 8 章の参考文献	124
第9章 結論	125

9.1 本研究の成果	125
9.2 提案モデルの実務への適用	128
9.3 今後の研究課題	129
第 9 章の参考文献	132
謝辞	133

第1章 序論

1.1 研究の動機

公共事業投資額は1990年代を境に減少傾向に転じ、現在ではピーク時の約半分程度となっている¹⁾。これはバブルの崩壊とそれ以降の景気低迷によるところが大きいが、人口減少による需要の量的減少という背景もまた無視できない。最新の将来人口推計²⁾によると、平成22年の国勢調査以降は長期の人口減少時代に入ると予測されており、今後、公共事業投資額が好転する望みは薄い。その一方で、戦後急速に整備されたインフラは、当初見込まれたインフラの耐用年数である50年に、そろそろ到達する時期となっており、修繕等の維持管理費が今後膨大に必要となると予想される。これらの事情を勘案すると、新規の道路整備に関する投資枠はこれから益々減少していく状況にある。

我が国でこれまで行われてきた道路整備事業は高規格幹線道路に集中する一方で、国道・県道等の整備率は60%前後³⁾にとどまっている。一般に道路整備の目的は、単に現況の混雑緩和に留まるものではなく、その事業によって新たな需要を喚起する需要創出や、生活環境整備が掲げられることが多い。これらの政策において道路事業は、産業、ならびに生活にかかわる活動の基盤として、換言すると地方の活性化や生活維持などの政策を支えるインフラとしての役割を果たすことが期待されている。この場合、道路事業とともに掲げられた政策の当否は、地域間競争を踏まえた関連事業の適切な設定にも左右される。したがって上記の政策においては、特に道路事業単位での評価は困難と言わざるを得ない。これは、インフラ整備と交通需要の間には正の依存関係が双方向で存在することを示している。

一方で公共投資が減少してきた2000年代より、道路事業の事業評価・新規採択については、費用対効果（B/C）や各種整備効果等の検証を行い、客観的な評価のもとで効果的な道路事業を採択する仕組みが順次整ってきた^{3,4)}。その仕組みを要約すると、事業箇所ごとに設定した事業単位の事業評価を実施する個別評価方式である。一方個別評価の難点は、地域全体あるいは道路ネットワーク全体としての評価と比較すると、その事業の評価が過小ないしは過大になる場合が存在することである。例えば、事業箇所ごとに評価を実施した場合、交通需要が多い都市部では並行する道路事業が重複採択されるなど、場合によっては過重投資となる可能性がある。逆に中山間地域では、地域間を連絡する一体的な道路事業を個別に評価してしまうと、両事業の整備によって見込まれる相乗効果が得られず、どちらも採択されない可能性もある。詳細については後述するが、ひとまず本節では道路ネットワーク上での事業間の相互依存関係をネ

ネットワーク性と呼び、またその実施にかかる効果をネットワーク効果と呼ぶことにする。

以上から明らかなように、現行の事業評価手法は、道路のようなネットワーク性のある事業ではなく、それぞれの効果が独立な公共事業を念頭に整備されたという経緯を有している。つまり現行手法は、地域全体のネットワークを体系的に最適化する状況を想定した手法にはなっていない。さらに戦後我が国で行われた道路事業の目的は、ブキャナンレポートを受けた産業競争力の強化に集中してきたといえる。高度経済成長期に計画された高規格幹線道路中心の整備では、絶対的なインフラ不足のため区間別の個別評価であっても十分な便益が見込まれた上、当時の人口増加社会では、いずれ整備した区間の利用が進むという期待もあった。しかし今後、人口減少を基調とした社会において行われる道路整備計画では、道路事業に固有のネットワーク性やネットワーク効果に留意した地域道路計画が求められる。

本研究は以上の問題意識を踏まえて、現行の事業評価手法の拡張として、地域道路網計画へそのまま適用できるような、道路ネットワーク評価手法を検討する。

1.2 実務における道路事業評価手法

現在の実務における道路事業評価の流れは、国土交通省所管の道路事業の場合、計画（事前）、新規事業採択時、事業中、事業後（事後）の各段階に応じた評価を順次実施することとなっている。これら全段階では、費用対効果分析（B/C）が必須となっており、その値は評価対象とした事業の投資効果に関する定量的指標として、事業採択・継続の判断材料の一つとなっている。

道路事業評価手法は、費用便益分析マニュアルが平成8年に試行されて以降、平成14年の「行政機関が行う政策の評価に関する法律（政策評価法）」の施行を受け、段階的に改訂されてきた。そのねらいは、主に膨大な事業費がかかる道路事業の事業採択の説明責任・透明性を確保することにあった。その一方で、個別道路事業の効果の積み上げでは道路ネットワーク全体で発現する事業効果を算出できないというネットワーク外部性に関しては、一連のマニュアル策定において、ほとんど注意を払われていなかった。

1.2.1 実務における道路事業評価の変遷

実務において、はじめて費用便益分析マニュアルが試行されたのは平成8年である⁵⁾。当時から便益算定項目は、基本3便益と言われる「走行時間短縮便益」，「走行経費減少便益」，「交通事故減少便益」の3項目であり、現マニュアルと同じ項目であった。ただし便益算定期間や時間価値原単位等、いくつかの諸条件については、表1.1のように順次見直しが行われている^{6,7,8)}。

まず、平成8年の費用便益分析マニュアルでは「新規事業採択時評価³⁾」から試行された。その後、平成10年の費用便益分析マニュアルの改訂時に、事業採択後一定期間を経過した後も未着工の事業等について「再評価⁴⁾」が実施されることとなった。さらに、平成14年の行政評価法、平成15年のマニュアル改定時に、事業完了後の事業の効果、環境への影響等の確認を行うための「事後評価⁹⁾」が追加された。さらに近年では、新規事業採択の前段階において、公共事業の効率性・実施過程の透明性の一層の向上を図ることを目的に「計画段階評価¹⁰⁾」が検討され、平成24年度から本格実施となった（表1.2参照）。

現在の各事業評価の流れを図1.1に示す。同表より、現行の事業評価は計画段階、新規事業採択時、再評価、事後評価の順で行われる。新規事業採択後は進捗確認のため、概ね3年毎に実施される。

以上のように、道路事業評価は多段階において定期的に事業評価を実施する仕組みとなっており、費用便益分析マニュアルでは実務に適した形で様々な前

表1.1 費用便益分析マニュアルの改訂経緯

策定時期	概要	ベースとする 道路交通 センサス	便益項目	検討 期間	備考
H08.12	・推計交通量を用いた面的な便益計測に基づくB/C算定マニュアル策定	H02 センサス	・走行時間短縮便益 ・走行経費減少便益 ・交通事故減少便益	30年	—
H09.08	・単価時点修正のみ	H02 センサス	(同上)	—	—
H10.06	・休日考慮を可とする記述追記 ・交通事故減少便益の算定手法変更	H06 センサス	(同上)	40年	・「道路投資の評価に関する指針検討委員会」にて検討
H15.08	・単価時点修正が主	H11 センサス	(同上)	40年	・「道路事業評価手法検討委員会」(H15.1～H15.7)にて検討 ※委員会は～H16.12まで開催
H20.11	・災害通行止めや冬期の交通状況の考慮に関する記述追加	H17 センサス	(同上)	50年	・「道路事業の評価手法に関する検討委員会」(H20.6～H20.11)にて検討

表1.2 道路事業における事業評価の経緯

	計画段階 評価	新規事業 採択時評価	再評価	事後評価	備考
H8 年度		試行	・客観的評価指標(案)【H10.6】 ・費用便益分析マニュアル(案)【H10.6】		
H9 年度					
H10 年度		評価の導入			
H11 年度					
H12 年度				試行	
H13 年度	・客観的評価指標【H15.8】 ・費用便益分析マニュアル【H15.8】				
H14 年度					行政機関が行う政策の評価に関する 法律(行政評価法)【H14.4.1 施行】
H15 年度		費用便益分析マニュアル等の改定		評価の導入	
H16 年度					連続立体交差事業の 評価手法の策定
H17 年度		総合評価手法の導入	・客観的評価指標に対応する 事後評価項目【H15.9】	・客観的評価指標 <連続立体交差事業編>【H16.4】 ・費用便益分析マニュアル <連続立体交差事業編>【H16.4】	
H18 年度	・道路事業・街路事業に係る 総合評価要綱【H17.2】				
H19 年度					
H20 年度		事業評価手法の検討（費用便益分析マニュアル改定【H20.11】）			
H21 年度					
H22 年度	試行				国土交通省所管公共事業における 政策目標評価型事業評価の導入につ いての基本方針(案)の策定(H22.8)
H23 年度		・国土交通省所管公共事業の計画 段階評価実施要領【H24.12】			
H24 年度	評価の導入				
H25 年度					
H26 年度					

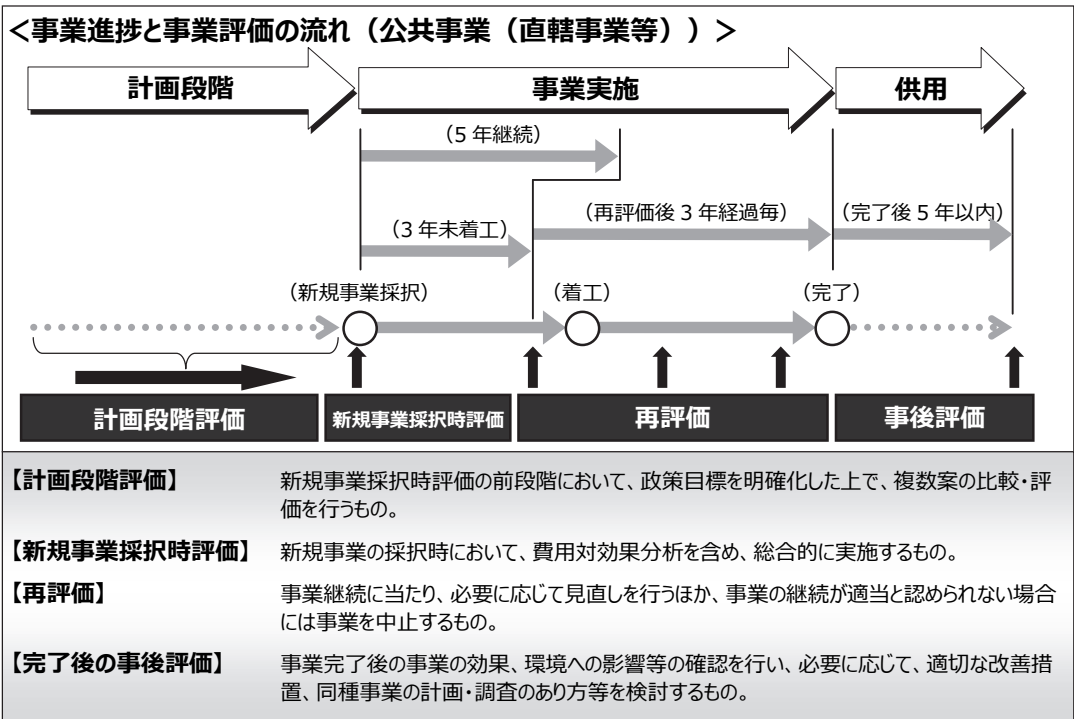


図1.1 道路事業評価の流れ

提条件を置いている（2章で詳述）．ただし、これらの前提条件に関しては、道路事業評価を行う際の限界や課題に関して幾つかの指摘もされており、次項において整理する．

1.2.2 実務における道路事業評価に係わる指摘

前述のとおり、費用便益分析マニュアルをベースとする事業評価が標準的な方法として定着する一方、評価方法の限界に係わる様々な指摘もある．ここでは、道路事業評価方法に関する研究における指摘を踏まえて、その課題を抽出する．

1) 経済理論を踏まえた便益計測方法（消費者余剰、等価的偏差）への展開

現行の費用便益分析マニュアルは、道路整備の有無（with, without）による「総交通費用」の差を道路整備便益とする方法を採用しており、経済理論を踏まえた便益計測方法（消費者余剰、等価的偏差）への展開の必要性とその解決策等も多く検討されている^{11,12,13}．これらの検討に基づいて、今後の費用便益分析は、現行の総交通費用から「消費者余剰」による方法に移行する予定となっている．

現行の費用便益分析マニュアルは、便益発生サイドで計測を行っているが、これは交通施設整備に伴う交通費用の低下に代表される直接効果を計上する方法である．その一方で社会や地域に産業立地が生じ雇用が増加し、地域の生産や所得が拡大するといった、いわゆる間接効果についても定量的に把握し評価すべきだという指摘も多い¹⁴．後者は、代表的な手法として応用一般均衡モデル（CGE）や空間的応用一般均衡モデル（SCGE）が挙げられる帰着サイドでの便益計測であり、経済理論において両者は、市場の外部性や、市場競争の激しい地域において研究開発等が進展することによる内生的な技術革新等が存在しないという理想的な条件下では整合する．しかし現行の交通量推計をベースとした発生サイドの便益計測と産業連関表などをベースとした帰着サイドの便益計測では、推計に用いるデータの精度や手法の信頼性が異なるため、実際の便益推計値には大きな違いが生じる可能性がある点には注意する必要がある．

2) ネットワーク外部性の考慮

現行の道路事業評価制度は、個別事業を対象として、ある静的な道路ネットワーク下における当該事業の有無（with, without）を比較する方法である．し

かしこの方法では、当該道路の周辺に道路事業が計画されていても、その道路事業の実施によって評価対象区間の交通量が変化する影響は加味されない。そのため、このような周辺道路ネットワークの変化に伴う影響、すなわちネットワーク外部性の考慮が指摘されている¹⁵⁾。

なお、本研究におけるネットワーク外部性については2.1に詳述する。

3) 道路事業以外の施設整備の影響

道路は多様な施設を相互に連絡するという機能を持つ。つまり、道路ネットワーク計画は施設整備と密接な関係があるにも関わらず、これまで両者が同時に考慮されることはほとんどなかった。道路財政が低迷する中で効率的で効果的な道路事業を検討する上では、道路事業と施設整備事業の両者を同時に評価できる手法の検討が重要と考える。

4) 事業区間の取扱い

現行の道路事業評価は、事業区間を所与として固定的に扱っているが、事業区間の設定によっては費用便益分析の結果が変わることも多い。例えば、高規格幹線道路の整備を評価する場合、各1インターチェンジ間を1事業区間とするより、2インターチェンジ間を統合して1事業区間として扱った方が、ネットワーク効果が発揮されて、投資効果（B/C値）が大きく算定される。現在の事業区間は、一般的には、当該区間に関連する交通流動や用地買収等の工事進捗状況を勘案して設定されることが多いが、インフラ整備の効果・効率性を高めるためには、ネットワーク効果を踏まえた事業区間設定が必要との指摘がある¹⁶⁾。

5) 評価指標について

費用便益分析結果（投資効果）は、主に交通需要に左右される。したがって、交通需要が少ない中山間地等においては、事業の採択に十分な投資効果が得られないこともある。これを受けて、平成20年の費用便益分析マニュアルの改訂では、走行時間短縮便益に休日の考慮や、冬期交通の考慮、災害時の迂回短縮の考慮、といった地域特有の課題に関する便益の計上を認めている。さらに標準的な値の他に加えることのできる拡張便益として、救急救命の向上便益や、仮想的市場評価法（CVM）¹⁷⁾によって道路整備による災害時等への安心感向上効果等の間接効果を別途表現して加算する場合もある。

6) 公平性の議論

費用便益分析は、投資に見合う効果に着目した効率性の観点からの評価だが、道路事業のようなインフラ整備については、どの地域に住んでいても同レベルのサービスを享受できるといった公平性の観点から評価すべきという意見もある。費用便益分析マニュアルに公平性の観点を取り入れるための一手法としては、標準的な手法で算出されたB/C値を地域の現状などを踏まえて事後修正する「地域修正係数」が提案されている。その手法はドイツの交通投資評価指針において導入されている経緯を踏まえて、我が国でも試行すべきとの指摘¹⁸⁾がある。また、費用便益分析マニュアルの基礎となっている「道路投資の評価に関する指針（案）第2編」においても、地域修正係数について試行すべき事項と位置づけて解説している¹⁹⁾。

7) 時間価値の議論

費用便益分析の走行時間短縮便益は、短縮走行時間×車種別走行台数×車種別時間価値の積算によって計算されるが、時間価値はトリップ目的によっても異なる等の意見があり、時間価値の細分化の必要性が指摘されている¹⁶⁾。また諸外国に比べ、日本の時間価値設定は高いとの指摘もあるが、これについては一概に低くするというのではなく、算出方法の見直し等を行いながら、費用便益分析マニュアルでも順次見直しが行われている。

8) 交通量配分手法の均衡配分への展開

費用便益分析で必要となるリンク交通量（路線別区間別交通量）は、現在、分割配分法によって推計されている。しかし、推計の前提条件（分割比率等）には恣意的に設定せざるを得ないパラメータが含まれるため、推計値としてアカウンタビリティに乏しいとの指摘がある。そのため、計算過程が明確で、理論的に厳密解を求められる均衡配分法への展開の必要性が指摘されている¹⁶⁾。

9) 予算制約、整備目標への対応

地域道路網計画では、通常は事業便益と事業費用の割引現在価値を最大化する整備目標と共に計画期間総予算、または年次予算に関する制約が設けられる。すなわち、複数の道路事業の計画、ならびに評価では、限られた予算制約の下で最適な計画を立案することが必要となる。

また、道路ネットワーク計画においては、救急医療施設等の特定拠点への平均アクセス時間を整備目標（アウトカム目標）に掲げることもあり、そのような整備目標への対応を考慮した評価システムの構築も、実務上求められている。

10) 誘発交通の考慮

道路整備に伴って時間短縮がおこると、その地域へ行きやすくなるため発生交通量そのものが増加する傾向があり、結果として、整備後にOD交通量に変化する。しかし、現行の費用便益分析マニュアルでは、推計の簡便性や誘発交通量推計手法の信頼性が低いなどの理由から、整備前後のOD交通量は同一としてB/C値を算出することとされている。一方で消費者余剰法を適用するならば、このような誘発交通便益の存在は自明と言えるため、信頼性の高い誘発交通の推計手法についてはさらに検討を深める必要がある。

なお、誘発交通を考慮した便益計測手法の研究として、「消費者余剰（MD）による計測」と「等価的偏差（EV）」を比較した研究がみられる。同研究では、消費者余剰による計測が、より厳密な便益定義である等価的偏差に対して十分な近似になり得ることを実証している²⁰⁾。

1.3 本研究の目的と位置づけ

1.3.1 本研究の目的

本研究では、前節の道路事業評価への指摘を踏まえて、実務への適用を念頭においた動的な道路事業評価方法の研究を行う。具体的には、費用便益分析マニュアルの展開の方向性となっている消費者余剰アプローチをベースに、ネットワーク外部性や誘発交通等を考慮した動的な道路事業評価方法の研究を行う。

構築する道路事業評価方法のイメージは、図1.2, および図1.3のとおりである。モデルへのインプット情報は、現況状況を示す道路ネットワークと施設配置、将来計画を示す道路事業情報と施設計画、制約条件となる投資規模（予算）と整備目標などであり、評価対象事業の整備順序と評価期間全体の整備効果をアウトプットする数理計画モデルを構築する。提案手法の有効性を検証するために、諸条件の統制が容易な仮想ネットワークに基づくシミュレーション分析と、実務における適用性を検討するために一部パラメータを実証モデルによって推計した実ネットワークに基づくシミュレーション分析を行う。

<評価フロー (INPUT&OUTPUT)>

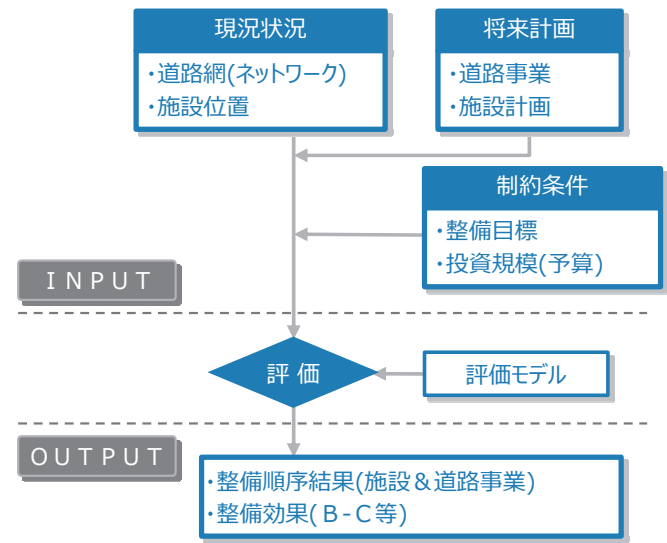


図1.2 本研究の評価フロー

<INPUT>



<OUTPUT>

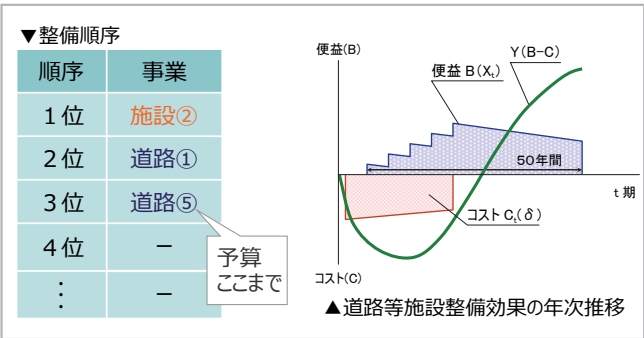


図1.3 本研究の評価システムによるインプット・アウトプットイメージ

1.3.2 本研究の分析対象

本研究を進めるにあたり、1.2.2で整理した道路事業評価に係わる指摘について分析対象を整理する。

まず、便益計測方法については、現行の費用便益分析マニュアルの「総交通費用」から移行しやすく、マニュアルの展開の方向性ともなっている消費者余剰アプローチをベースとする。その他の指摘については、表1.3に示すとおり、6項目についてそれぞれ以下のように扱う。

①ネットワークの外部性、②施設整備の影響、および③事業区間については、複数の道路事業を対象とした道路網計画において重要な事項であり、実務適用を念頭においた本研究と密接な内容のため、分析対象とする。

④評価指標については、本研究では消費者余剰のみ評価指標として扱う。基本3便益以外の便益項目については、事業評価委員会（国交省）等において検討中であるため扱わないこととするほか、消費者余剰法に加えて多基準分析的に扱うことはしない。なお、提案手法では基本的には目的関数や制約条件として、多様な評価指標を考慮できる構造となっており、費用便益分析マニュアルの改訂を受けて適宜修正を加えることができる。

⑤効率性・公平性の議論については、現行の事業評価の基礎となっている効率性の観点にそった評価を基本として分析を進める。なお、本論文では公平性の議論に立ち入ることはしないが、上述した通り提案モデルにおいては、シビ

表1.3 本研究の分析対象

項目		問題点・課題の指摘	本研究での対象	本研究での考え方
①	ネットワーク外部性の考慮	道路整備効果は、周辺の道路ネットワークの整備状況に影響を受けるため、周辺道路網設定は重要な問題。	○	モデル内に反映
②	道路事業以外の施設整備の影響	道路は多様な施設と連絡するという機能を持つため、周辺施設の整備状況の影響も大きい。	○	評価対象事業の一つとして取り扱う
③	事業区間の取り扱い（設定方法）	区間の取り方によって整備効果（B/C等）は異なる。	○	モデル内に内生化
④	評価指標について	事業評価委員会（国交省等）などにおいても、基本3便益以外の効果計測を求められることがある。	×	消費者余剰を評価指標とし、多基準分析とはしない
⑤	効率性・公平性の議論	公平性の観点から、事業評価をすべきという議論もある。	×	現時点実務で適用されている「効率性」を基本とする
⑥	時間価値の議論	時間価値はトリップ目的によっても異なる。時間価値の細分化の必要性が指摘されている。	×	時間価値は適用するが、時間価値の議論は他者に譲る
⑦	配分手法の均衡配分への展開	現在の実務では分割配分が適用されている。	○	均衡配分を適用
⑧	予算制約、整備目標への対応	限られた予算の中で、最適な計画を立案することが実務上非常に重要。	○	制約条件としてモデルに反映
⑨	誘発交通の考慮	現B/CマニュアルはOD固定の評価であり、誘発交通を考慮していない。	○	モデル内に反映

ルミニマムとして各ゾーンからの最大アクセス時間などは制約条件として表現可能である．よって一部のモデルでこれらの公平性を考慮する．

⑥時間価値は，本研究では所与として扱う．すなわち，時間価値の設定方法については他に議論を譲り，本研究での分析対象とはしない．

⑦均衡配分は交通需要予測モデルとして透明性が高く，分割配分における分割数のような恣意的なパラメータ設定の必要が無いなどの利点の一方で，対象とするネットワーク上の事業が段階的に実施される，動的ネットワーク計画における計算負荷などの実務課題は，明らかにされていない．そこで本研究では，各事業の実施段階ごとに静的な均衡状態が達成されると仮定した静的配分法を，サブモデルを用いることによって，各事業の限界純便益を評価する分析フレームのくり返し適用によって事業の段階実施順序を評価するアプローチをとり，実務的に計算可能なアルゴリズムの開発を目指す．

⑧予算制約・整備目標への対応，ならに⑨誘発交通の考慮については，道路事業の採択・整備効果等を検討する上で非常に重要な事項であり，本研究の検討対象とする．

1.3.3 本研究の位置づけ

本研究は，実務適用を念頭において，現行の費用便益分析マニュアルの総交通費用アプローチを消費者余剰アプローチに展開し，かつ動的な計測方法とし

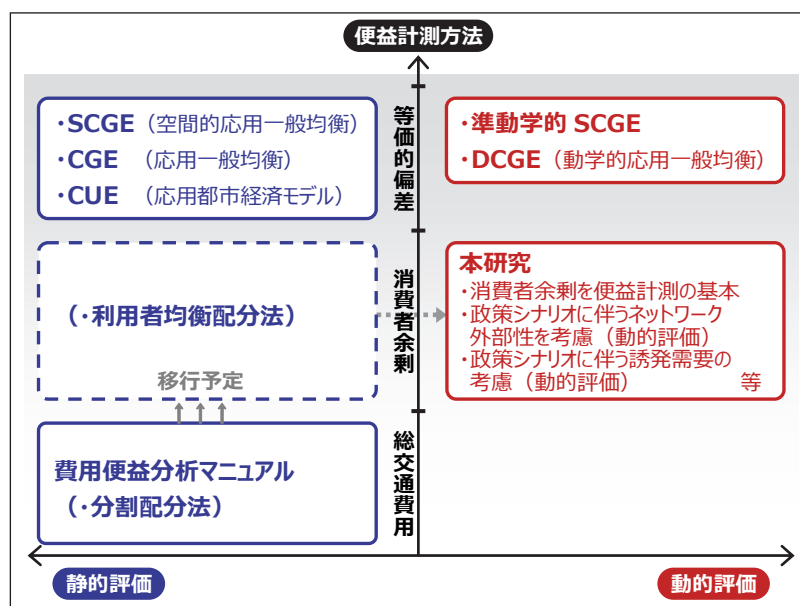


図1.4 本研究の位置づけ

て構築する。他の便益計測手法との棲み分け（研究の位置づけ）としては図1.4のイメージとなる。

1.4 本論文の構成

本論文は9章で構成される。図1.5に構成イメージを示す。

第1章の序論に続いて、第2章では既往の研究として、実務における道路事業評価方法を詳しく紹介するとともに、道路事業評価に係わる既往研究についてレビューし、本研究で扱う課題及びその検討の方向性について整理する。

第3章では、第2章の課題を受け、本研究で提案する動的な道路事業評価モデルの定式化を展開する。

第4章以降は、提案モデルの数値解析であり、第6章までは仮想ネットワークでのシミュレーション分析、第7章、第8章は実ネットワークの実証分析とする。

第4章では、動的な道路事業評価モデルとして必須となる、複数の道路事業を対象とした場合の「ネットワーク外部性」の考慮の必要性について検証する。

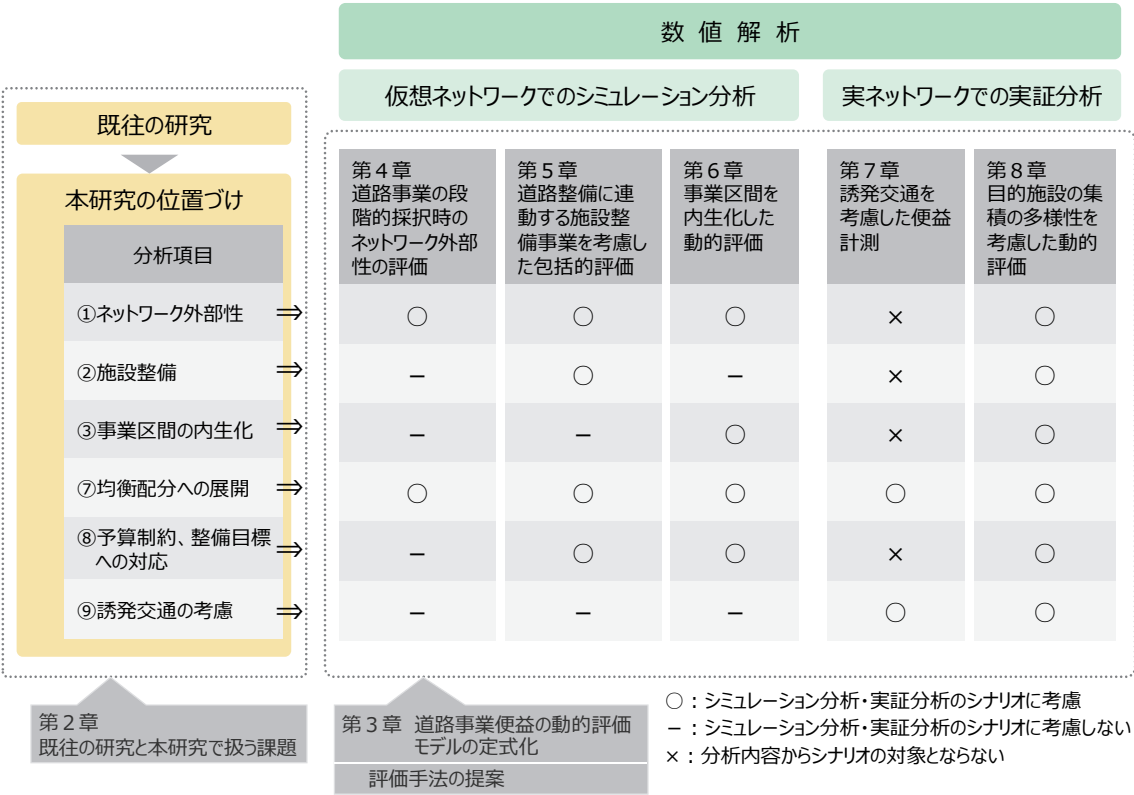


図1.5 本論文の構成

第5章では、第4章の発展として、施設整備事業を考慮した場合のアウトプット（最適な整備順序、総純便益等）の違いについて、シミュレーション分析を通じて検証する。

第6章では、第4章の発展として、評価対象となる事業区間についても、事業評価モデル内に内生化したモデルを提案し、実際に試算を行う。そのうえで、モデルのアウトプット（整備順序、総純便益等）の違いについて検証を行う。

第7章では、実際の道路ネットワーク（中国地方の一般県道以上）とOD交通量を対象として、誘発交通を考慮した場合のOD交通量のモデル再現性と総純便益の違いについて検証する。

第8章では、本研究の総括的な分析として、本研究で扱う道路整備に伴う動的変動要因を全て考慮した実証分析を行う。具体的には、広島県を対象として、実際の道路ネットワークの変化とOD交通量の変化から交通需要予測モデルを推定し、本研究の提案モデルに組み込むことにより、理論的な整備順序と総純便益を算出する。そして実際の整備順序とその便益結果（従来手法による）と比較検証する。

最後に第9章で、本研究で得られた研究成果を総括するとともに、研究課題を整理し、今後の動向を展望する。

第1章の参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書，2013.
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成24年1月推計），2012.
- 3) 国土交通省：国土交通省所管公共事業の新規事業採択時評価実施要領，2011.
- 4) 国土交通省：国土交通省所管公共事業の再評価実施要領，2011.
- 5) 建設省道路局：道路投資の効果分析手法の検討（費用便益分析マニュアル（案）），1996.
- 6) 建設省道路局・都市局：費用便益分析マニュアル（案），1998.
- 7) 国土交通省 道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2003.
- 8) 国土交通省 道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2008.
- 9) 国土交通省：国土交通省所管公共事業の完了後の事後評価実施要領，2011.
- 10) 国土交通省：国土交通省所管公共事業の計画段階評価実施要領，2012.
- 11) 城所幸弘，“ネットワークに対する費用便益分析－理論と実務への応用－”，運輸政策研究，Vol.4, No.4, pp.2-10, 2002.
- 12) 上田孝行，森杉壽芳，杉山泰久：“交通整備事業の便益計測に関するいくつかの留意事項－城所論文を踏まえた再検討－”，運輸政策研究，Vol.5, No.2, pp.23-35, 2002.
- 13) 城所幸弘，上田・森杉・林山論文「交通整備事業の便益計測に関するいくつかの留意事項－城所論文を踏まえた再検討－」への回答，運輸政策研究，Vol.6, No.022, pp.23-35, 2004
- 14) 上田孝行：セミナーの目指すもの，公開セミナー「経済均衡モデルによる公共事業評価－地域の変化を測る－」，運輸政策研究，Vol.8, No.3, pp.66-67, 2005.
- 15) 松中亮治，谷口守，舛岡田渡史：複数の段階的整備プロセス決定基準における非採択プロジェクトの採択可能性に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.22, pp.667-674, 2005.
- 16) 桐越信，森川高行，城所幸弘，毛利雄一，松岡斉：道路事業における費用便益分析の現状と課題（座談会），交通工学，Vol.43, pp.15-25, 2008.
- 17) 国土交通省：仮想的市場評価法（CVM）適用の指針，2009.
- 18) 上田孝行，長谷川専，森杉壽芳，吉田哲生：“地域修正係数を導入した費用便益分析”，土木計画学研究・論文集，No.16, pp.139-145, 1999.
- 19) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針（案）第2編（総合評価），日本総合研究所，2000.
- 20) 上田孝行，森杉壽芳，小森俊文：「第8章 誘発を考慮した便益計測手法の比較」，道路投資の便益評価（東洋経済新報社），pp.217-233, 2008.

第2章 既往の研究と本研究で扱う課題

本章では、実務における道路事業評価方法と、研究における道路事業評価に関わる既往研究をそれぞれレビューする。前者については、ネットワーク外部性に対する実務的考慮と実際の道路事業評価方法に着目することにより、研究として議論されている内容との違いを明確にする。後者については、道路事業の動的な評価を実施した既往研究や、インフラ事業の整備効果を帰着サイドで便益計測する応用一般均衡分析、および誘発交通を予測するための補助的な概念として重要な、空間経済学の独占的競争で扱われる財のバラエティがもたらす需要効果を道路事業評価に導入した研究等、本研究で分析対象とした項目に関連する既往研究をレビューする。最後にこれらを踏まえて、本研究で扱う課題について、検討の方向性を整理する。

2.1 ネットワーク外部性の実務的考慮

(1) ネットワーク外部性の概念

経済学において、「外部性 (Externality)」とは、ある財の本来の機能が別の市場における需給バランスの影響を受けることによって、その財の取引市場の均衡量と価格（コスト）に影響を与えることを指す。道路ネットワークの外部性は、リンクベースで定義した交通市場の合成として、利用者の選択単位であるルートベースの選択肢が現れることによって生じる。これは具体的には、リンクパフォーマンス関数とリンク交通量の関係に相当する均衡コストと均衡量、つまり一般化された所要時間と交通需要によって定まるリンク別の交通市場に対して、ODベースで発生する交通需要が経路ベースの選択によって各リンクに割り振られ、その結果としてリンクが提供可能な交通サービス水準が変化することによる静的な影響である。これに加えて、リンクが提供可能な交通サービス水準が周辺の道路事業の先行整備によって影響を受けること、つまりあたかも先行整備の影響がリンク間で伝搬するような動的な影響も、複数事業が計画されている道路ネットワークの外部性と考えることができる。なお両者はそもそも交通需要の選択が経路ベースで起こることに起因しており、この意味では静的な影響と原因は同じである。したがって、当該ネットワーク上で予定されている道路事業の効果を計測するにあたり、リンクベースで設定した事業単位のいくつかを組み合わせた道路ネットワーク整備計画を立案する限りにおいて、便益評価には常にネットワーク外部性が現れることになる。

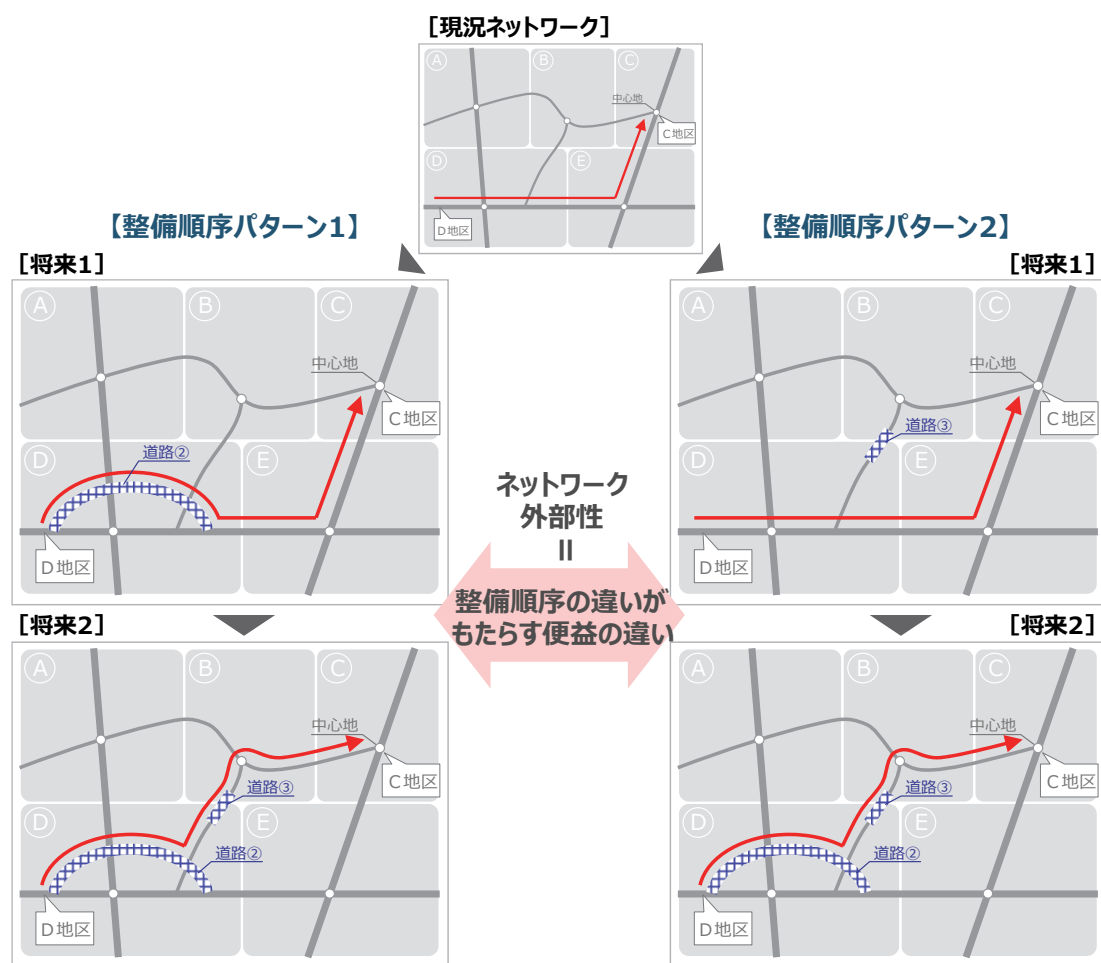


図2.1 道路ネットワーク外部性の概念

後者の整備順序の影響に着目して整理すると、図2.1のように、2つの道路事業（道路②，道路③）が計画されているとき、整備順序は、パターン1：道路②⇒道路③と、パターン2：道路③⇒道路②、の2種類がある．ここで、それぞれのパターンに対して、地区D⇒地区Cへの時間最短の利用ルートを整理すると同図の赤線のようになったとする．パターン1において先行整備される道路②に着目すると、その後整備された道路③によって、利用ルートが変更され、所要時間が減少している．一方パターン2では、先行整備される道路③は整備後に利用ルートにはなっていないが、さらに道路②が整備されることによって利用ルートになっており、所要時間が減少する．いずれも両事業を採択した最終状態の利用経路は同一だが、そのプロセスにおいては利用経路が異なるため両パターンの便益（割引現在価値）は一致しない．本論では主に、他の道路事業の整備の影響を受けて、当該事業の整備効果が変わる影響をネットワーク外部性という．

本研究では、複数の道路事業を評価する際に生じるネットワーク外部性の考慮が重要と考える。特に、長期にわたって段階的な整備が行われる地域の道路計画においては、途中時点の道路ネットワークの（整備）状況に基づいた便益評価が必須となる。なお以下では、段階的に整備されることによって、時点ごとに変化する道路ネットワークを参照しておこなう便益評価を、「動的な道路事業評価」と呼ぶ。

(2) ネットワーク外部性の実務的考慮

実務における道路事業評価は、ある1時点の静的ネットワーク下での評価が基本である。図2.2で言えば、道路②と③の両方が整備された将来フルネットワークの完成時点を対象に、それぞれ当該道路事業の整備有無（with, without）の比較により評価する。そのため、途中段階の道路ネットワークの状況は考慮されない。つまり、実務における道路事業評価は、当該事業を除いた道路ネットワークは、常に同じ状態にある。

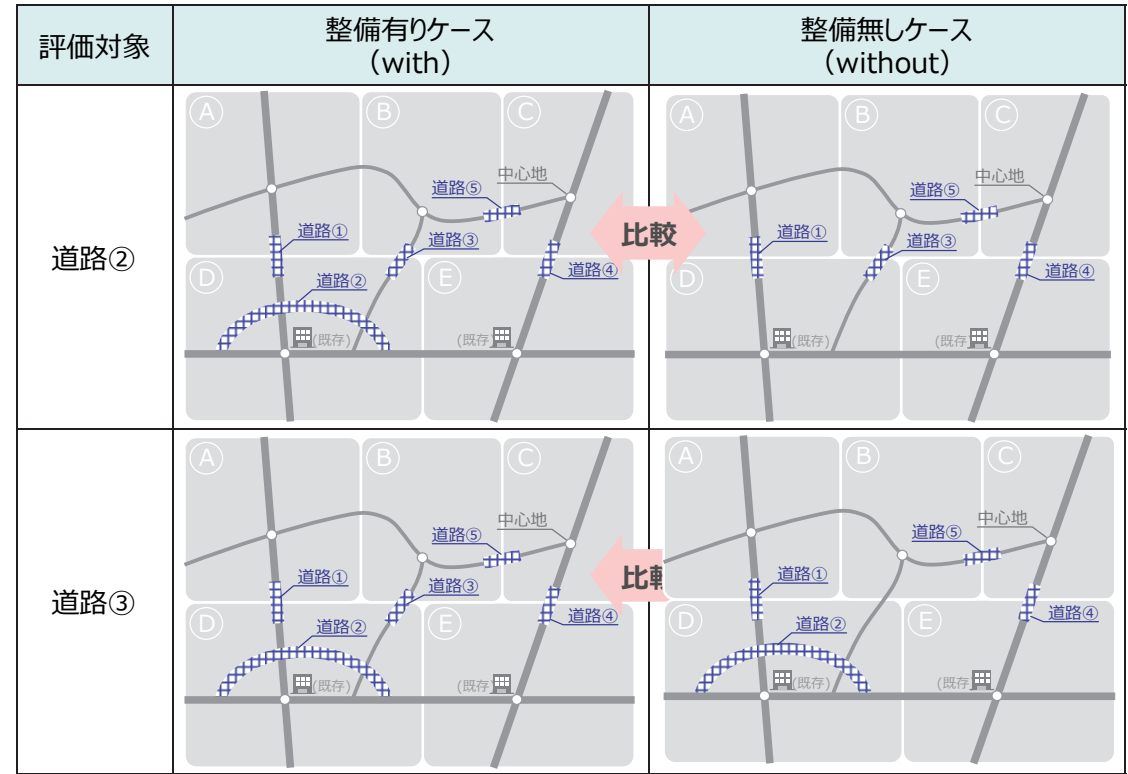


図2.2 実務における道路事業評価の整備有無ケース設定

2.2 実務における道路事業評価方法

前章で述べたように、現在、実務における道路事業評価の手順としては、概ね計画段階（事前）、新規事業採択時、再評価（事業中）、事後といった手順で、各段階の評価を順次実施することとなっており、かつ各段階では、費用対効果分析（B/C）の算出が必須となっている。

本節では、費用対効果分析の事業評価における位置づけ、および費用便益分析マニュアルの具体的な計算方法、計算に関わる指摘事項について整理する。

2.2.1 道路事業評価における費用便益分析の位置づけ

平成14年に施行された「行政機関が行う政策の評価に関する法律（政策評価法）」に基づき、各省庁は所管する政策の、必要性、効率性、または有効性の観点等から自ら評価するとともに、その評価の結果を当該政策に適切に反映することを義務付けられている。国土交通省では、「国土交通省所管公共事業の事業評価実施要領」を定めて、新規事業採択時評価等の事業評価を実施している。また地方自治体においても、国の動きを受け、独自の実施要領のもとで、道路事業等の評価を実施している。

費用便益分析は、事業評価の中で非常に重要な位置づけにある。例えば「新規事業採択時評価実施要領」では、その実施目的に、“公共事業の効率性及びその実施過程の透明性の一層の向上を図るため、新規事業採択時評価を実施する。新新規事業採択時評価は、費用対効果分析を含め、総合的に実施するものである”と明記されている。

国土交通省は道路事業・街路事業に係わる費用便益分析マニュアルを作成（最新は平成20年）し、評価を行う上での基礎としている。地方自治体においても、基本的に、同費用便益分析マニュアルを適用している。

事業評価の判定基準としては、このマニュアルに従って算出される費用便益比（以下、B/C）が1.0以上であること、つまり投資効果が認められるか否かが、事業採択あるいは継続判定の基準の一つとなっている。過去には、B/C値が1.0を下回った事業に対して「建設凍結」の判定¹⁾がなされたこともある。

このように、今日の国および地方自治体の道路事業評価において費用便益分析は必須となっており、全ての事業段階において適用されている。しかしながら、基本的に事業実施の有無に関する比較静学を前提とする費用便益分析は、状況比較の際に参照する市場の状態が同一の場合を念頭においている。これに対して、道路事業などの長期、かつ個別プロジェクト間に依存性のあるケース

への適用に関して限界がある．次節では典型的な費用便益分析のフローを整理したうえで，同手法の実務的な課題を整理する．

2.2.2 実務における費用便益分析の計算方法

費用便益分析マニュアル²⁾での分析フローは，図2.3に示すとおりである．以下に，具体的な計算方法を整理する．

1) 算出の前提

費用便益分析にあたっては，算出した各年次の便益・費用の値を，割引率を用いて現在価値に換算して分析する．現在価値算出のための社会的割引率は4％に固定されている．検討年数は50年間であり，これは道路施設の耐用年数等を考慮して設定されている．

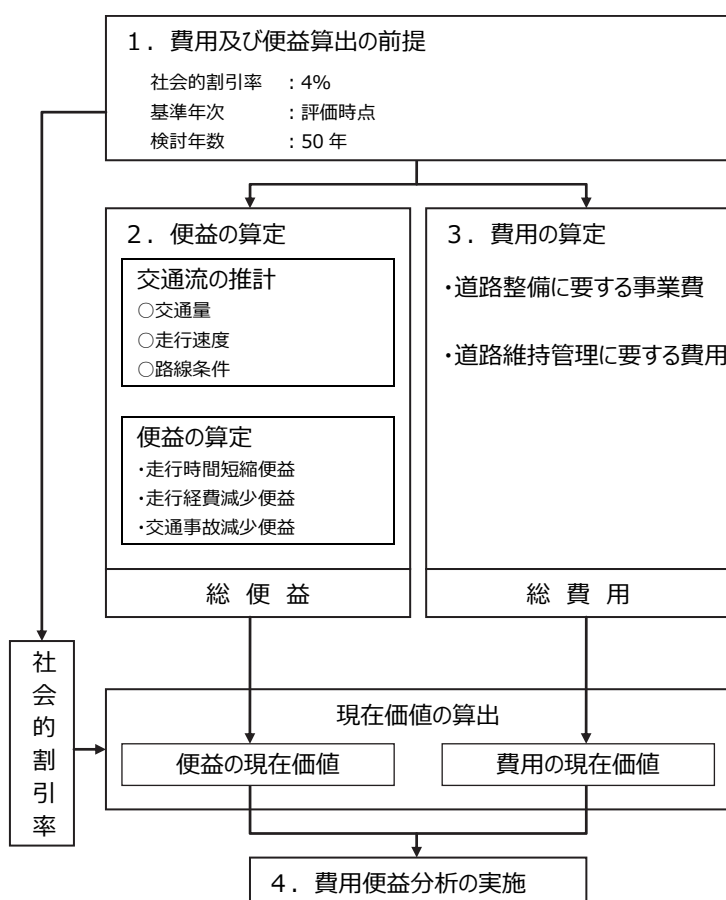


図2.3 費用便益分析マニュアルでの分析フロー

2) 便益の算定

便益は、道路整備の有り（with）ケースと、無し（without）ケースの2ケースの交通量推計結果をもとに算定する。便益算定項目は、走行時間短縮便益、走行経費減少便益、交通事故減少便益の3便益であり、例えば走行時間短縮便益は、式(2.1)、(2.2)によって算定される。すなわち、道路整備が行われない場合の走行時間費用と、道路整備が行われる場合の走行時間費用の差として算定される、「総交通費用アプローチ」と呼ばれる方法である。

$$\text{走行時間短縮便益： } BT_i = BT_o - BT_w \quad (2.1)$$

$$\text{事業無しの総走行時間費用： } BT_o = \sum_j \sum_l (Q_{jl}^o \times T_{jl}^o \times \alpha_j) \times 365 \quad (2.2a)$$

$$\text{事業有りの総走行時間費用： } BT_w = \sum_j \sum_l (Q_{jl}^w \times T_{jl}^w \times \alpha_j) \times 365 \quad (2.2b)$$

ここで、 BT は走行時間短縮便益(円/年)、 BT_o は事業無しの総走行時間費用(円/年)、 BT_w は事業有りの総走行時間費用(円/年)、 Q_{jl} はリンク l における車種 j の交通量(台/日)、 T_{jl} はリンク l における車種 j の走行時間(分)、 α_j は車種 j の時間価値原単位(円/分・台)、 j は車種、 l はリンクである。

検討期間（50年間）全体の便益は、式(2.1)による単年次便益を、整備路線の供用開始年を起算点として、50年間にわたり各年次算定し、式(2.3)により現在価値化することで算定される。

$$\text{事業}_i \text{の便益の現在価値： } PV_i = \sum_{t=0}^{50} \left\{ \frac{B_{it}}{(1+\gamma)^{s+t}} \right\} \quad (2.3)$$

ここで、 PV_i は事業 i の便益の現在価値(円)、 s は基準年次から供用開始年次までの年数(年)、 t は供用開始年次を0年目とする年次(年)、 γ は割引率(=4%)である。

なお、式(2.1)に従って各年次便益を算定するには、整備有無の交通量推計を50年間にわたって用意する必要があるが、実務上は現実的ではない。そこで、図2.4のように、各年次便益をある1年次（あるいは複数年次）において算定した単年次便益に別途設定される走行台キロの年次別伸び率を乗じることにより、簡便的に算定する方法がとられる。以上のように、実務における便益算定では、周辺道路ネットワークの変化に伴うネットワーク外部性は考慮されていない。

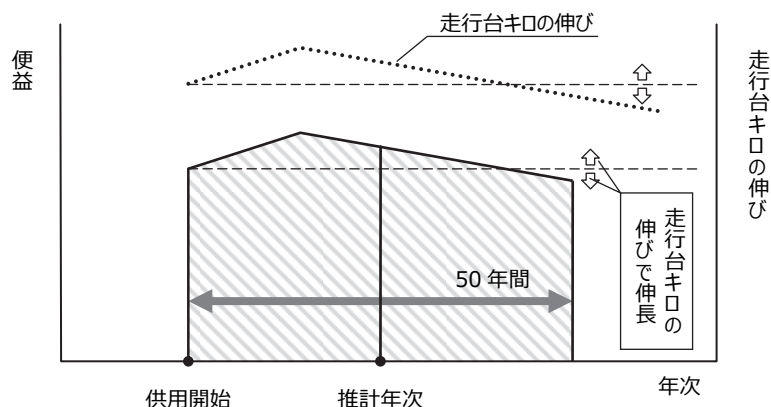


図2.4 走行台キロの伸び率を用いた年次便益の算定イメージ

3) 費用の算定

費用としては、道路整備に要する事業費と、道路維持管理に要する費用の2種類について、評価対象路線の固有費用が計上される。また、費用についても便益と同様、社会的割引率を用いて現在価値化される。

4) 交通量推計の方法

費用便益分析マニュアルでは、交通量の推計手法は、道路交通センサスベースのOD表（OD交通量）を用いて三段階推定法（発生集中交通量の推計，分布交通量の推計，経路配分）により実施することが原則とされている。なお，ベースとするOD表は，道路交通センサス調査をベースとするOD表ばかりでなく，パーソントリップ調査や，独自の実態調査をベースとして作成したOD表等も認められている。

また，便益計算上のOD交通量の区分は，道路交通センサスOD交通量の車種区分に倣って，車種ごとに設定される走行経費・将来の走行台キロ伸び率・時間価値などを用いている。具体的には，4車種区分（乗用車・バス・小型貨物車・普通貨物車）あるいは3車種区分（乗用車類・小型貨物車・普通貨物車）が基本となっている。なお交通量の経路配分手法については，一般的に「転換率式を適用した分割配分法」が用いられている。なお，転換率式とは，高速道路等の有料道路利用経路と，無料道路だけを利用する経路の2つに対して，有料道路経路の利用率を算出する式であり，転換率は分割OD交通量ごとに計算される。

上述した条件のほかに交通量推計において最も強い前提条件は，「整備有り無し（with, without）の両交通量推計において用いる分布交通量を同一」として

いることである。これは既存推計の活用のため、マニュアル上で“整備・改良有の場合のリンク交通量の推計には、整備・改良無の場合と同じ道路網の範囲、ならびに同じ分布交通量を前提とした経路配分から推計を行う”となっていることに由来する。実務ではこの記載を受けて、整備有り無し（with, without）のリンク交通量は分布交通量固定で算定することが一般的となっている。

2.2.3 費用便益分析における時間価値

最新の費用便益分析マニュアル（平成20年11月）に記載されている時間価値は、「道路事業の評価手法に関する検討委員会」³⁾において検討された値である。同資料では、時間価値原単位の算出方法についても示されており、それによると、時間価値原単位は「自動車1台の走行時間が1分短縮された場合におけるその時間の価値（機会費用）を貨幣評価したものである」と定義されている。ここで機会費用は、その時間短縮によって生じる活動の価値によって評価されていることに注意すると、その交通を行う者がおかれている状況の違い、つまり交通目的等によって時間価値が異なることが理解できる。

同資料では、時間価値原単位を計測する際の前提条件が表2.1のように示されており、既存の費用便益分析マニュアル等における評価手法との整合のための前提条件であると明記されている。同表の前提条件の中で特に重要なのは、3点目の完全競争の仮定であり、この前提により費用便益分析マニュアルによる便益計測が直接便益に限定されていても、それが波及するその他の市場全てにおいて発生する便益を網羅していることとなる。なお、その解説として、この点

表2.1 時間価値原単位を計測する際の主な前提条件

- | |
|---|
| <p>①各家計（ドライバー、同乗者含む）は、みずからの効用（満足度）を最大化するように、労働や資本を企業に提出することにより所得を得て、財・サービスおよび余暇を消費するものとする。</p> <p>②各企業（自動車運送サービス事業者等含む）は利潤を最大化するように労働や資本、および中間財を投入し、財・サービスを生産しているものとする。</p> <p>③各市場（財・サービス市場、労働市場、自動車運送サービス市場等）は完全競争的であり、各市場における需要と供給は長期的に均衡している。</p> |
|---|

出典：「時間価値原単位および走行経費原単位（平成20年価格）の算出方法、第4回道路事業の評価手法に関する検討委員会」

表2.2 各車種別・機会費用の計測項目

車 種		計測項目
乗 用 車	自家用乗用車	①業務目的のドライバー及び同乗者の機会費用 ②非業務目的のドライバー及び同乗者の機会費用 ③車両の機会費用 ^{*1}
	営業用乗用車 (タクシー)	①タクシー事業者の従業員の機会費用 ②同乗者(乗客)の機会費用 ③車両の機会費用
バ ス	営業用バス ^{*2} (乗合バス, 貸切バス)	①バス事業者の従業員の機会費用 ②同乗者(乗客)の機会費用
	自家用バス ^{*2}	①業務目的, 非業務目的のドライバーの機会費用 ②同乗者(乗客)の機会費用
貨 物 車	営業用貨物車 (小型・普通別)	①トラック事業者の従業員の機会費用 ②車両の機会費用 ③貨物の機会費用
	自家用貨物車 (小型・普通別)	①業務目的のドライバー及び同乗者の機会費用 ②非業務目的のドライバー及び同乗者の機会費用 ③車両の機会費用 ^{*1} ④貨物の機会費用

^{*1} : 業務目的のトリップのみ考慮する。

^{*2} : バスについても, 車両の機会費用を考慮すべきものと考えられるが, 必要なデータが得られないことから, 考慮していない。

出典 : 「時間価値原単位および走行経費原単位(平成20年価格)の算出方法,
第4回道路事業の評価手法に関する検討委員会」

については, 以下の注釈が追記されている。

「完全競争の下では, すべての財・サービスの価格がそれぞれの限界費用に一致し, 効率的な資源配分が達成される。このような場合, 発生ベースの便益と, 最終的に家計や企業に帰着する便益が等しくなるため, 発生ベースの便益のみを計測すれば十分であることが知られている。既存の費用便益分析マニュアル等では, 主に発生ベースの便益を計測する手法を採用しているため, これらマニュアルに整合した原単位を設定するためには, 完全競争市場を想定することが必要となる。」

以上のように, 費用便益分析マニュアルでは, 完全競争市場下で時間価値が設定されている。機会費用, すなわち活動目的や交通主体が置かれている状況

の例示に関しては、簡単のため表2.2のような車種別（人・車両・貨物）の区分が示されており、実務においては、これらの状況の中から適切な値を選択して、時間短縮便益が計測される。

2.3 道路事業評価に関わる既往の研究

本節では、前章で整理した、本研究での分析課題に関わる既往研究についてレビューする。

2.3.1 動的な道路整備事業評価手法に関する既往研究

本節では、本研究の基幹的な分析課題と設定した「ネットワーク外部性」に関わる既往研究として、動的な道路事業評価を行った研究に着目して整理する。

複数の道路事業を対象とした比較的長期間の道路事業評価手法に関わる研究として、動的なネットワーク外部性を考慮した美濃ら⁴⁾の研究がある。この研究では、都市内高速道路に関してOD所要時間をflow dependent（OD所要時間がリンク交通量の関数となること）とした動的ネットワーク改修問題を定式化し、遺伝的アルゴリズムによって最適解を求めている。この研究では、各事業の完了時点でその次に最も純便益の高い区間を整備する短期的計画と、各時点の純便益を積算した事業期間全体の総純便益を最大化する長期的計画を比較した。その結果、後者の便益が各時点で常に大きく、対象とした都市内高速整備事業が混雑緩和に資することを明らかにした。同様の指摘は、Peterson^{5,6)}も行っている。さらに松中ら⁷⁾は、費用便益分析マニュアルによる静的ネットワーク下の評価では非採択となったプロジェクトの中に、動的ネットワーク評価の下では採択されるプロジェクトがあることを、シミュレーション分析によって明らかにした。青山ら⁸⁾は、道路建設費の利子率に関する感度分析を行い、効率性の観点からは道路整備を途中で停止することが望ましいケースもあることを指摘している。

また、動的ネットワーク計画問題を実ネットワークに適用する場合、制約条件や操作変数が極めて多いことによって生じるNP困難性（最適解を算出するアルゴリズムの計算量が、多項式で見積もれない性質）に対応する必要がある。そこで多くの既往研究^{4,7,8)}は、遺伝的アルゴリズムを採用している。一方で、厳密解を求めるには、問題を動的計画問題として再定式化した上で解空間を制約して問題を単純化する⁵⁾、Lagrange緩和法を適用する⁶⁾などの、求解法が提案されている。このほか、計画期間中の需要や費用等の不確実性を考慮する必要性

が指摘されている。栗野ら⁹⁾は、社会資本の補修投資問題に関して最適インパルス制御を適用できることを示した。さらに、赤松・長江¹⁰⁾、および長江・赤松¹¹⁾は、社会基盤投資・運用問題に関して、オプショングラフによる問題表現と、変分不等式による解法を提案した。

以上を踏まえ、本研究においても、段階的な整備を反映する動的な道路ネットワーク計画としてのモデル構築が基軸になると考える。そのため、解法についても、既往研究と同様、遺伝的アルゴリズムの適用が有効と考える。

2.3.2 投資タイミングに関する既往研究

整備順序の分析は、事業の実施可能時点が複数存在する場合、各事業に対してそれぞれどのタイミングで投資するかを決定する問題、または投資対象事業そのものを絞りこむ問題でもある。ここでは、投資のタイミング、実施遅延がもたらす損失、および順序検討に関連する既往研究をレビューする。

実務において道路事業は、計画段階評価、新規事業採択時評価、再評価、事後評価の4段階で評価される^{12,13)}。これらの各段階で繰り返し事業評価を行うことは、投資効果を確認することを目的としている。たとえば再評価では、計画当初と比較した事業費の増加や、計画交通量が減少する場合や、計画当初の進行予定通りに投資が進まず供用が遅延する場合等の投資環境の変化を事業評価に反映させた上で、投資効果を再チェックする。上田ら¹⁴⁾は、公共事業の投資タイミングについて、事業投資による年当り純便益の供用後の推移パターン（一定で推移、一定率で増加、一定率で減少）ごとに、最適な投資タイミングが存在することを図解している。横松ら¹⁵⁾は、プロジェクトの実施遅延がもたらす経済損失を、事業の将来便益の不確実性を踏まえて評価する手法を提案した。長谷川ら¹⁶⁾は事業価値と進捗率という2つの状態変数に関する情報に基づいて、事前評価における事業の採択、再評価時点における事業の継続・中止を合理的かつ整合的に決定できる評価モデルを提案している。

以上を踏まえると、各事業には最適な投資タイミングがあり、それによって便益が変化すると言える。本研究の整備順序検討にあたっては、上記の動的な道路事業評価と合わせて、最適化問題の目的変数を評価対象期間の各年で発生する費用と便益の双方について、これを現在価値化した総純便益とすることが妥当と考えられる。

2.3.3 施設配置モデルに関する既往研究

本研究で分析課題としている施設整備事業の影響については、関連する既往研究は施設配置モデルが該当する。土木計画分野でも公共施設の配置計画に関する研究が見られる。

施設配置モデルは、Operations Research の分野（例えば、Drezner and Hamacher¹⁷⁾）において開発が進められてきた。最も単純なモデルは、施設立地費用が利用者数と独立な容量非制約型施設配置問題であり、その後は、在庫品の貨物輸送（Hinojosa ほか¹⁸⁾、Gebennini ほか¹⁹⁾）等のサプライチェーンマネジメント(SCM)への適用を念頭に開発されてきた。なお、Arabani and Farahani²⁰⁾ は、従来の主流の1つである SCM における短期動学を扱うばかりではなく、施設の立地や統廃合を扱う長期的な空間ネットワーク計画の必要性を指摘した。

土木計画の分野で施設配置問題は、初期には病院、学校または行政の出張所のような公共施設の配置計画に適用されてきた。その後、モデルの解法が開発されるとともに、需要応答型の施設立地費用（Averbach ほか²¹⁾）や、トリアージ（負傷の程度による患者間の治療優先順位区分）が必要な患者の確率的な需要（Syam²²⁾）への適用も行われている。災害時における負傷者搬送活動について小池ら²³⁾は、リンクに関連する「混雑による留置リスク」と「長時間搬送リスク」に加えて、ノードで発生する「医療混乱リスク」を指摘した。奥村らは、道路網計画と施設整備計画の統合を図るため、混合整数計画問題として大規模地震時における重傷者の搬送計画モデルを定式化して、道路と医療機関の耐震構造強化の検討²⁴⁾を行ったほか、医療チームの派遣問題を同時決定するモデルへの拡張²⁵⁾を行った。

以上、公共施設の配置計画等の既往研究では、救急医療や災害時を対象とした研究が多いが、基本的な考え方は、そのような緊急時に発生する活動・行動と、その活動の対象となる施設配置の関係を定式化したものである。本研究においても、土木計画学における上述の研究においてみられる一連の定式化にならって、対象とする施設整備事業に対する行動利用者と交通需要の関連性を明示しつつ、交通需要予測モデルの中で反映する方法を検討する。

2.3.4 消費者余剰アプローチによる政策評価の既往研究

消費者余剰アプローチによる政策評価については多くの蓄積がある。中でも代表的な研究例として、森地、金本らの文献²⁶⁾がある。この研究では、消費者余剰アプローチによる便益計測の基本的な考え方を解説するとともに、いくつ

かの論文を収録している。冒頭の金本²⁷⁾の論文は、便益計測手法と需要予測の関係性について包括的に整理している。道路投資の便益評価には複数のアプローチがあるが、いずれの方法を用いるにしても、その目的は便益推計値の精度を高めることであるとしている。さらに、便益推計値を決定的にするのは、交通量予測値、一般化費用推計値、経路レベル需要曲線の計上の3つであるため、これらの推定の妥当性を検証した上で、適切な手法を選択する必要があることを指摘している。

実務への適用を念頭においた論文として、毛利ら²⁸⁾は、実施可能でかつ望ましい便益計測方法の適用に向けて、交通需要予測方法の理論とその適用について検討しており、確定的利用者均衡配分や確率的利用者均衡配分に基づく便益計測方法について、実務の立場から評価を行っている。また実務では、鉄道部門において、鉄道プロジェクトの費用便益分析に消費者余剰での便益計測がマニュアル化²⁹⁾されている。

消費者余剰アプローチを含め、交通プロジェクトの便益評価に関しては、交通需要のどの集計レベルで便益を計測すべきか、という基本的な問題があった。ODレベルで計測するか、リンク／経路レベルで計測するか、という問題である。この問題に対して、円山³⁰⁾は、厳密な消費者余剰アプローチでは、どの計測レベルでも便益指標は等しくなることを証明した。

以上を踏まえて、本研究では、消費者余剰アプローチによる便益計測を基本と考える。なお、便益推計値の精度高めるためには、交通量予測値等の精度を高めることが重要である。また、誘発交通量を考慮する必要性があるので、便益計測は、OD交通量ではなく、発生交通量に基づく定式化を視野に検討を行う。

2.3.5 応用一般均衡分析に関する既往研究

近年、事業評価手法の一つとして、応用一般均衡分析による適用研究が多く見られる。応用一般均衡分析は、交通市場ばかりでなく、事業に関連する経済主体間の相互作用を土地市場や労働供給などの複数の市場によって表現し、事業実施前後でそれぞれ均衡状態を求めて比較する手法であり、経済学的意義が明確な便益計測が可能な点が特長である。Morisugi and Ohno³¹⁾は、純便益を内容別に分解可能な便益帰着構成表を提案した。さらに、空間的な便益帰着地域を明らかにできる手法として、空間的応用一般均衡(SCGE)が開発されている。SCGEモデルは、地点ごとに異なる市場を想定し、これら全てについてワルラス法則と一般均衡を満たす解を求める手法であり、厳密な便益計測が可能である³²⁾。

4段階推計法と整合的な土地利用・交通モデルを、一般均衡フレームで定式化した分析手法として、応用都市経済（CUE）モデルがある。なおCUEモデルに関しては、上田らが我が国におけるこれまでの発展経緯に関する簡潔で詳細なレビューを行っている³³⁾。CUEモデルとSCGEモデルを比較すると、前者は4段階推計法に則しているため、交通プロジェクトによる影響評価をより詳細に行える一方で、後者よりも複雑で大規模なモデルとなるため広域への適用が難しいとされている。

なお上述の手法は、事業実施／非実施のいずれに関しても、基本的に静学的な均衡状態を仮定している。小池・川本³⁴⁾は、静学的なSCGEモデルを拡張して、均衡状態に向かって段階的に人口移動が発生することを表現した準動学的なSCGEモデルを提案した。さらに資本が段階的に移動することを表現した準動学モデルは、物流に関する港湾整備効果の分析³⁵⁾にも適用されている。

2.3.6 誘発交通量に関わる既往研究

2.2.2において述べたように、費用便益分析マニュアルに従って行われる、実務における道路事業評価は、道路整備前後においてOD交通量が同一という前提の下で、便益計測が行われる。しかし実際には道路整備が行われた周辺地域では、利用者のトリップ目的地が変化することによって、結果的にOD交通量や発生交通量が増加することが多い。以下本研究では、このような交通量の変化を、「誘発交通」と呼ぶ。

道路整備の費用便益分析では、4段階推定法に基づく交通需要予測モデルが一般的に適用される。4段階推定をベースとした誘発交通に関わる既往研究としては、円山ら³⁶⁾があり、この研究では発生・分布・分担・配分をNested Logitで結合して、混雑地域における道路整備の利用者便益を計算している。しかし考慮されている誘発交通は、従来の一般化費用（移動時間を時間価値で費用換算した上で移動料金を加算）の下で算出されており、Wardrop則を仮定することによって、一般化費用が増加する地域へのOD交通量は、増えない構造となっている。

Feng X and Zhang³⁷⁾ は、発生・分布・分担・配分の4段階の推定について、配分段階で得られるOD所要時間を、分担段階の効用値、分布段階の時間距離抵抗、さらに発生段階のアクセシビリティに、フィードバックする構造の交通需要モデルを提案している。また、Feng T and Zhang³⁸⁾ は、自動車保有台数と総トリップ数を最大化する上位問題と、リンク所要時間と自動車OD交通量を最小化する下位問題を統合した、バイレベルの最適化問題を定式化している。前者の研究は、フィードバック指標を工夫することで、本研究で対象としている、一般化費用が増加する地域への誘発交通量予測の可能性を示唆している。後者

の研究は、本研究で扱う、道路整備に伴う総純便益の最大化という上位問題と、道路整備に伴うリンク所要時間の最小化という下位問題の解析方法のヒントを与えている。

交通需要と土地利用等の変化を同時に扱い、かつ便益を計測する手法としては、応用都市経済（CUE）モデルが提案されており、適用事例も多い^{39,40}。帰着サイドで便益計測する同モデルの便益は、発生サイドで便益計測する従来の便益と理論的には一致するはずだが、実際には、1)取り扱うデータ量の多さとモデル構築に労力を要するという問題に加えて、2)土地利用・交通市場が均衡するまでに要する時間軸を明示的に考慮できないという問題を抱えているため、データや手法の特性によって、両者が必ずしも一致しないこともある。

また、誘発交通の予測に直接関係しないが、地域・都市経済学において古くから蓄積されている、都市の集積に関する要因・理論は、地域の交通量発生や集中に関するポテンシャルの表現として重要である。つまり、この集積の効果を道路整備と合わせて表現できれば、誘発交通の予測に繋がると考える。石倉⁴¹は、空間経済学で言う集積の経済性と空間的応用一般均衡（SCGE）を組み合わせ、人口減少に伴う都市の縮退と集積について分析を行った。高山ら⁴²は、空間経済学に基づくSCGEモデルを構築し、大規模な地域に生産規模の大きい産業が集積するという、従来モデルでは表現できない現象を表現した。

以上を踏まえて、本研究では、誘発交通量を考慮する方法として、4段階推定をベースとしつつ、発生・分布交通量段階における予測モデルにおいて、集積の効果等を考慮する方法を検討する。

2.4 本研究で扱う課題と検討方針

本節では、分析課題として挙げた6項目について、前節までのレビューを踏まえ、本研究で提案するモデルでの検討方針を整理する。

1) ネットワーク外部性の考慮

本研究で扱う道路ネットワーク上の外部性とは、当該道路事業の効果を計測するにあたり、周辺の他の道路事業による整備効果を外部的に受けることを指す。本研究の対象は複数の道路事業であるため、その効果を計測するモデル構築にあたっては、毎年度の期首に現れる道路ネットワーク下で得られる便益を、静的なネットワーク均衡配分問題の解として得られるリンク交通量の関数として算出して、それを累積する構造とする。換言すると、本研究では各年次期首の静的ネットワーク下で得られる便益評価値を均衡配分によって算出すると

もに、事業実施の順序については、組合せ最適化問題として定式化し、その評価関数は各年次NPVを累積する構造とする。

提案モデルの構造は、リンク交通量算出を下位問題、リンクパフォーマンスを改善する道路事業についての実施順序を含む選択を上位問題とするバイレベル問題であるとともに、下位問題では各時点で均衡制約が課せられるMPEC問題となっている。なお、既往研究^{4,7)}においても段階整備毎の便益計算を累積する方法が取られていたが、毎年度1事業ずつ整備されるといった強い仮定が置かれており、実際の道路事業の実施状況とは異なる。本研究では、より現実的な分析となるように、実務適用を念頭に置き、各事業の事業費と各年度の予算制約を踏まえた、整備順序・供用年次の求解が可能なモデル構築を試みる。

2) 道路事業以外の施設整備事業の影響の考慮

本研究で扱う施設整備事業のイメージは、大規模商業施設や、総合病院、産業団地といった、比較的規模が大きく、その整備に伴ってOD交通量、発生・集中交通量に影響を及ぼすような事業を想定している。ただし、道路事業と合わせて整備順序を検討する場面が想定される事業としては、総合病院や産業団地開発といった公的な施設整備である。そこで、施設整備事業の考慮については、整備順序の評価対象としての反映と、施設整備に伴う交通需要予測への反映、の2つの側面に留意してモデル構築を行う。

3) 事業区間の取扱い（事業区間設定方法）について

評価対象である道路事業の区間設定については、外生的に与える方法と、内生的にモデル内の最適化計算で設定する方法の2種類が考えられる。事業区間は実務ではほぼ外生的に与えるが、前述のとおり最適な区間設定を問われることもある。本研究では、外生的に与える方法と内生化の両方が扱えるモデル構造を検討する。詳細は第3章で後述するが、整備順序の最適化計算に遺伝的アルゴリズム（GA）を適用し、整備順序を遺伝子と見立てて、遺伝子配列設定において事業区間設定を工夫する。

4) 配分手法の均衡配分法への展開

本研究の提案モデルは、サブモデルとして交通需要予測モデルのほかに配分交通量モデルが必要である。交通量配分手法として、実務では高速転換率式併用の分割配分法の適用が一般的であるが、前述の指摘を踏まえて本研究では、

利用者均衡配分法を適用するが、同配分手法について設定すべきパラメータは、「道路交通需要予測の理論と適用，土木学会」より引用する。

5) 予算制約，整備目標への対応

実務における地域道路ネットワーク計画では，計画期間（10年後，20年後）を設定し，地域が目指す将来像を達成するための道路ネットワーク計画を行う．その際，道路事業投資については予算制約が課せられるばかりでなく，地域の将来像についてアウトカム目標，例えば，各地区から市中心部までの平均所要時間を何分以内，などが設定されることがある．そこで本研究では，これらの制約条件を反映したモデルを構築する．

6) 誘発交通の考慮

中山間地等の交通需要の少ない地域では，道路整備に伴う誘発交通が見込まれる場合は，誘発交通分の便益についても計上できることが求められる．従来のOD交通量固定の費用便益分析では反映できないため，本研究では誘発交通を考慮した交通需要予測サブモデルを含む便益計測モデルを構築する．既往研究³⁰⁾では，発生交通量段階，OD交通量段階のどの段階からでも消費者余剰アプローチによる便益計測が可能と提案されている．本研究では誘発交通を発生交通量段階から考慮するため，発生交通量段階での便益計測を行う．ただし同既往研究では，誘発交通は考慮されていないので，空間経済学のバラエティの効用等を参考に，交通需要予測モデル内で誘発交通を考慮できる方法を提案する．

第2章の参考文献

- 1) 国土交通省：費用便益比（B/C）の点検結果について，報道発表資料，2009. 3. 31.
- 2) 国土交通省 道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2008.
- 3) 道路事業の評価手法に関する検討委員会：時間価値原単位および走行経費原単位の算出方法，第4回道路事業の評価手法に関する検討委員会参考資料 1，2008. 11. 25.
- 4) 美濃雄介，青山吉隆，中川大，松中亮治，赤堀圭佑：都市内高速道路網における拡幅プロジェクト実施順序に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.19, pp.619-626, 2002.

- 5) Peterson, E. and Taylor, A.: An investment planning model for a new North-Central railway in Brazil, *Transportation Research A*, Vol.35, pp.847-862, 2001.
- 6) Peterson, E.: A highway corridor planning model: QROAD, *Transportation Research A*, Vol.36, pp.107-125, 2002.
- 7) 松中亮治, 谷口守, 舛岡田渡史: 複数の段階的整備プロセス決定基準における非採択プロジェクトの採択可能性に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, pp.667-674, 2005.
- 8) 青山吉隆, 松中亮治, 野村友哉: 大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用, 運輸政策研究, Vol.5, pp.2-13, 2002.
- 9) 栗野盛光, 小林潔司, 渡辺晴彦: 不確実性下における最適補修投資ルール, 土木学会論文集, No.667/IV-50, pp.1-14, 2001.
- 10) 赤松隆, 長江剛志: 不確実性下での社会基盤投資・運用問題に対する変分不等式アプローチ, 土木学会論文集, No.765/IV-64, pp.155-171, 2004.
- 11) 長江剛志, 赤松隆: 連鎖的な意思決定構造を持つプロジェクトの動学的評価法: オプション・グラフ・モデルとその解法, 土木学会論文集, No.772/IV-65, pp.185-202, 2004.
- 12) 国土交通省: 国土交通省所管公共事業の新規事業採択時評価実施要領, 2010.
- 13) 国土交通省: 国土交通省所管公共事業の再評価実施要領, 2010.
- 14) 上田孝行, Ma. Sheila A. Gaabucayan, 森杉壽芳: 公共事業の投資タイミングについて: 食べ頃と賞味期限の比喻, 運輸政策研究, Vol.5, No.1, pp.22-27, 2002.
- 15) 横松宗太, 織田澤利守, 小林潔司: プロジェクトの実施遅延がもたらす経済損失評価, 都市計画論文集, Vol.36, pp.937-942, 2001.
- 16) 長谷川専, 織田澤利守, 小林潔司: 遅延リスクを考慮した公共事業の事前・再評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.1, pp.63-74, 2004.
- 17) Drezner, Z. And Hamacher, H. : Facility location, Springer, 2001.
- 18) Hinojosa, Y., Kalcsics, J., Nickel, S., Puertod, J. and Veltene, S. : Dynamic supply chain design with inventory, *Computers & Operations Research*, Vol. 35, pp.373- 391, 2008.
- 19) Gebennini, E., Gamberini, R. and Manzini, R. : An integrated production –distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization, *International Journal of Production Economics*, Vol.122, pp.286-304, 2009.
- 20) Arabani, A. and Farahani, R. : Facility location dynamics: An overview of classifications and applications, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 62, pp.408-420, 2012.
- 21) Averbakh, I., Berman, O., Drezner, Z. and Wesolowsky, G. : The uncapacitated facility location problem with demand-dependent setup and service costs and customer-choice allocation, *European Journal of Operational Research*, Vol.179, pp.956-967, 2007.
- 22) Syam, S. : A multiple server location–allocation model for service system design, *Computers & Operations Research*, Vol. 35, pp.2248-2265, 2008.
- 23) 小池則満, 秀島栄三, 山本幸司, 深井俊英: 災害時における負傷者搬送活動の評価指標に関する基礎的考察, 土木学会論文集, Vol.709/IV-56, pp.71-79, 2002.

- 24) 奥村誠, 塚井誠人, 安村勇亮: 大規模地震による重傷者の搬送計画モデル, 第26回交通工学研究発表論文報告集, pp.249-252, 2006.
- 25) 奥村誠: 重傷者輸送と医療チームの派遣を考慮した最適道路・医療施設耐震化計画モデル, 都市計画論文集, No.45-3, pp.249-252, 2010.
- 26) 森地茂, 金本良嗣編: 道路投資の便益評価, 東洋経済新報社, 2008.
- 27) 金本良嗣: 「第1章 道路投資の便益評価」, 道路投資の便益評価 (東洋経済新報社), pp.21-28, 2008.
- 28) 毛利雄一, 桐越信, 阿部勝也: 実務における消費者余剰アプローチの適用を目指した便益計測方法, 土木計画学論文集, Vol.23, pp.667-674, 2006.
- 29) 国土交通省: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル (2012年改訂版), 2012.
- 30) 円山琢也: 交通需要のレベル別便益指標の一致性, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, pp.460-473, 2006.
- 31) Morisugi, H. and Ohno, E.: Proposal of a benefit incidence matrix for urban development projects, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.25, pp.461-481, 1995.
- 32) 上田孝行: Excel で学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.
- 33) 上田孝行, 堤盛人, 武藤慎一, 山崎清: わが国における応用都市経済モデルー特徴と発展経緯ー, 応用地域学会第22回研究発表会, 2008.
- 34) 小池淳司, 川本信秀: 規模の経済を考慮した準動学 SCGE モデルによる都市部交通渋滞の影響評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, pp.619-626, 237-245, 2000.
- 35) 檜垣文彦, 水谷誠, 土谷和之, 小池淳司: 準動学的 SCGE モデルによる国際物流需要予測および港湾整備の便益評価, 運輸政策研究, Vol.10, No.4, pp.21-32, 2008.
- 36) 円山琢也, 原田昇, 太田勝敏: “誘発交通を考慮した混雑地域における道路整備の利用者便益推定”, 土木学会論文集, No. 744, pp.123-137, 2003.
- 37) Feng, X., Zhang, J. and Fujiwara, A. : Analysis of feedback to obtain steady-state solutions in four-step modeling, *Transportmetrica*, Vol.5, pp.215-227, 2009.
- 38) Feng, T., Zhang, J. and Fujiwara, A. : An Integrated Modeling Framework For Environmentally Efficient Car Ownership And Trip Balance, *IATSS Research*, Vol.32, No.2, pp.95-108, 2008.
- 39) 上田孝行, 堤盛人, 武藤慎一, 山崎清: わが国における応用都市経済モデルー特徴と発展経緯ー, 応用地域学会, 2008.
- 40) 山崎清, 上田孝行, 武藤慎一: 開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の比較分析, 高速道路と自動車, Vol.51, No.11, pp.22-33, 2008.
- 41) 石倉智樹: 人口減少に伴う都市の縮退と集積に関する基礎的定量分析, 都市計画論文集, Vol.47, No.1, 2012.
- 42) 高山雄貴, 吉井稔雄: 空間経済モデルを用いた高速道路ネットワーク評価手法の開発, 社団法人 四国建設弘済会 建設事業に関する技術開発・調査研究, 2012.

第3章 道路事業便益の動的評価モデルの定式化

3.1 モデルの概要

第1章で述べたように，本研究の目的は，実務への適用を念頭においた動的な道路事業評価方法を検討することである．具体的には，消費者余剰アプローチによる便益計測をベースに，ネットワーク外部性や誘発交通等を考慮した動的な道路事業評価モデルを提案する．

図3.1に本研究で提案するモデルの概略構造を示す．本モデルは，2章で言及した分析課題に対応するように，各段階を構成している．

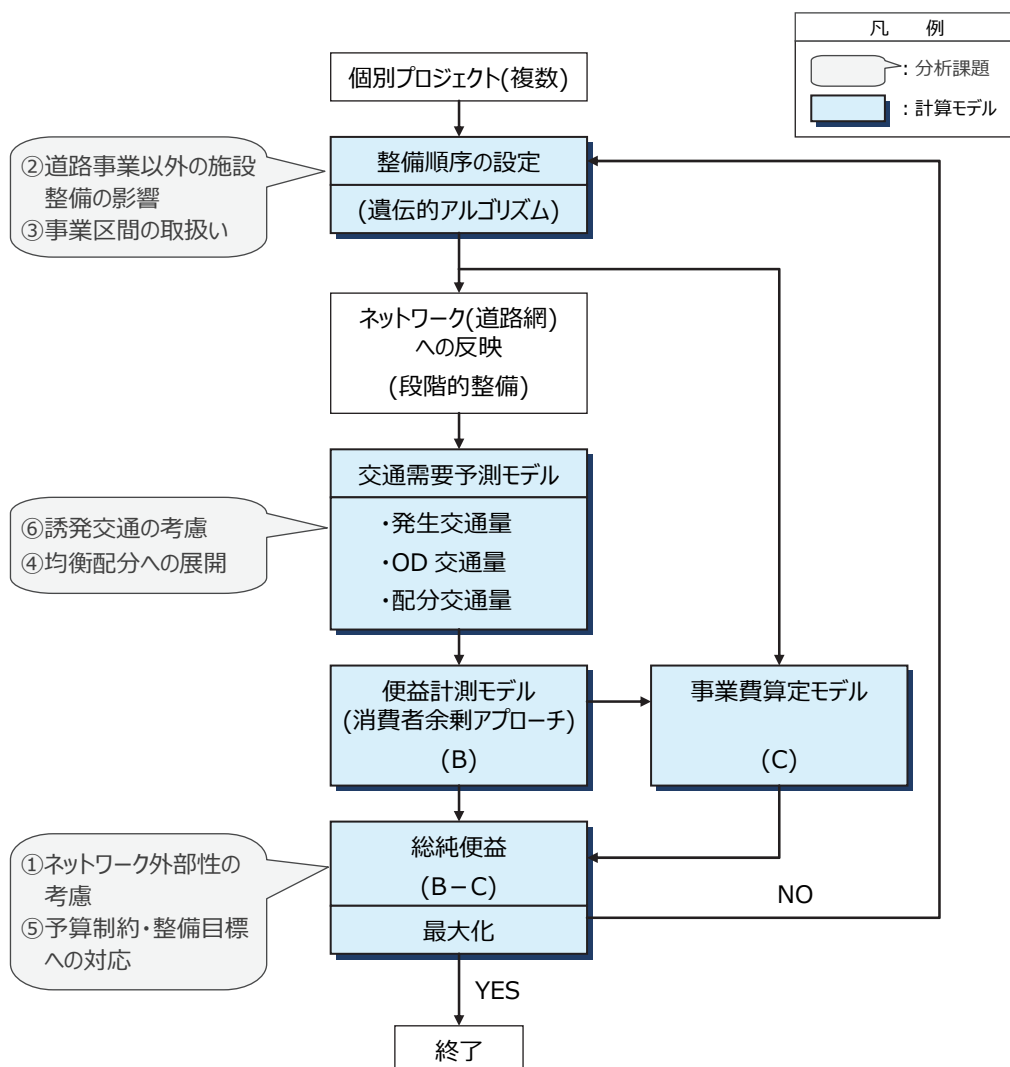


図3.1 分析課題と提案モデルの関係

目的変数は、消費者余剰アプローチをベースとして、各年次に発生する事業便益を割引現在価値換算した総純便益（NPV：Net Present Value）とする。その累積期間は、道路インフラの耐用年数に対応した期間とする。操作変数は対象とする道路ネットワーク上で実施が検討される個別の道路（関連）整備事業である。なお本研究では、道路事業以外の施設整備、たとえば病院や商業などの交通目的となる生活関連施設も、個別事業として設定する。以下、これらの整備事業を個別プロジェクトと呼ぶ。提案モデルは、設定した個別プロジェクトの中から、予算制約等の制約条件の下で総純便益を最大化するような個別プロジェクトを、その実施年次つきで選択する動的計画問題である。

提案モデルにおいて各プロジェクトによって発生する便益は、各時点で既に整備が終了した／整備以前の道路ネットワークのサービス水準（経路の所要時間）の関数として換算される。このとき本モデルの各年次期首の道路ネットワーク下で、Wardrop'則を満足するリンク交通量を出力する。つまり年次ごとに静的な道路ネットワーク下での均衡配分交通量を得るという制約条件の下で、事業評価期間全体での割引純便益を最大化する事業実施順序を得る問題を解く必要がある。以下本論では、上述のフレームで事業評価する提案モデルを「動的評価モデル」と呼ぶ。ここで、個別プロジェクトの実施順序とその道路ネットワーク上の配置によって各年次の便益が異なるというメカニズムを有する。上述の性質がネットワーク外部性であり、提案モデルはこれを考慮できる分析フレームとなっている。

なお個別プロジェクトのうち道路事業については、2区間を統合して実施することによって、その事業実施にかかる費用が削減できる可能性がある。これは規模の経済性に起因する費用削減効果であり、ネットワーク外部性とは区別して考慮する必要がある。そのため、個別事業を統合した「組み合わせ事業」を設定した上で、その費用を一次同次以下（その組み合わせに含まれる個別プロジェクトの総費用の和以下の費用）として採択候補事業に加えて、これを他の個別プロジェクトと共に、それぞれの採択／非採択を決定することとする。

プロジェクトの実施によって発生する誘発交通量は、発生交通量・OD交通量を道路サービス水準や、目的地予測モデルにおいて考慮する。配分交通量の予測モデルには、均衡配分法を適用する。次節において、具体的な定式化を行う。

3.2 動的な事業評価モデルの定式化

3.2.1 目的変数と制約条件

本研究では、地域アクセシビリティを改善する動的な道路ネットワーク整備問題を考える。以下簡単のため、個別プロジェクトとして、ネットワーク上のリンクに関する道路整備（新設と改修）のみを考慮する。

目的変数として、費用便益分析において一般的に用いられている純便益（NPV＝Net Present Value：便益の現在価値－費用の現在価値）を用いる（式(3.1)～式(3.3)）。ここで操作変数は、プロジェクト別時点別の採択／非採択をあらわす $\{0,1\}$ 変数である。つまり、目的変数（NPV）を最大化することにより、「最適な採択プロジェクトの集合と各プロジェクトの整備順序」を決定する。

なお、実務における道路事業評価では、「道路事業・街路事業に係る総合評価要綱¹⁾」に見られるように、費用便益比（B/C）や純便益（NPV）以外の効果・影響についても広く評価する手法を示しているが、提案モデルでは考慮しない。ただし、提案モデルの目的変数にそれらの指標を設定した場合でも、その他の分析フレームが同一であれば計算手順に大きな違いはないため、基本モデルの拡張は容易である。

$$\max_{\delta} Y \quad (3.1)$$

$$Y = \sum_t \frac{1}{(1+r)^{t-1}} (B(X_t) - C_t(\delta)) \quad (3.2)$$

$$\text{s.t. } \delta \in \{0,1\}, \forall t, \forall p \quad (3.3)$$

$$\sum_p \delta_p C_p \leq C^* \quad (3.4)$$

$$C_t(\delta) = \sum_p \delta_{pt} C_{pt} \leq C_t^*, \forall t \quad (3.5)$$

$$\bar{T}_q^{te} = \frac{1}{N_q} \sum_{i \in M_q} (N_i T_{ih}^{te}) \leq T_h^*, \forall q \quad (3.6)$$

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \forall t \quad (3.7)$$

本モデルでは、複数の候補プロジェクトから実施プロジェクトを選択する状況において現れる制約条件として、総プロジェクト予算制約：式(3.4)，ならびに実務的に多く用いられる各年度の予算制約：式(3.5)，プロジェクト整備後の最終ネットワークにおけるアクセシビリティ制約：式(3.6)，および各時点における交通量配分に関する総リンク所要時間の最小化制約：式(3.7)を，それぞれ設定する．以上のように本モデルは，式(3.7)の最小化式を制約条件に含んだ式(3.1)の最適化問題であるため，Bi-levelの最適化となっている．

ここで， Y は総純便益（NPV）である．添え字の p はプロジェクト種類， t は時点である． r は社会的割引率であり，以下の分析では現在実務（費用便益分析マニュアル¹⁾）で適用されている4%と仮定する． δ_{pt} は t 期におけるプロジェクト p に関するダミー変数であり，1：“採択”，0：“非採択”を示す． $\delta=(\dots, \delta_{pt}, \dots)$ はプロジェクト採択（操作変数）を表すベクトル， $X_t=(\dots, x_a^t, \dots)$ は t 期におけるリンク a の交通量 x_a^t のベクトル， $B(X_t)$ は X_t の関数として定義される年度便益である． $C_t(\delta)$ は採択プロジェクト全体の年度事業費であり， C_{pt} は t 期におけるプロジェクト p の事業費である．図3.2に，便益とコスト，ならびに評価値である総純便益の評価期間全体にわたる累積イメージを示す．

式(3.3)は設計変数に関する整数制約である．式(3.4)，(3.5)は，それぞれ，採択された全プロジェクトの実施の総費用にかかる総予算制約 C^* に関する制約条件であり，その各年額が年度予算制約 C_t^* である．添え字 i はゾーンを， h はアクセシビリティ目標となる地点の施設である．

T_{ih}^{te} は最終プロジェクト供用時 te におけるゾーン i から最短の目標地点 h までの移動時間である．最終年次のアクセシビリティ制約を表す式(3.6)は，以下の内容を示している．すなわち，式(3.6)は各ゾーンが所属する自治体を q ，自治体ご

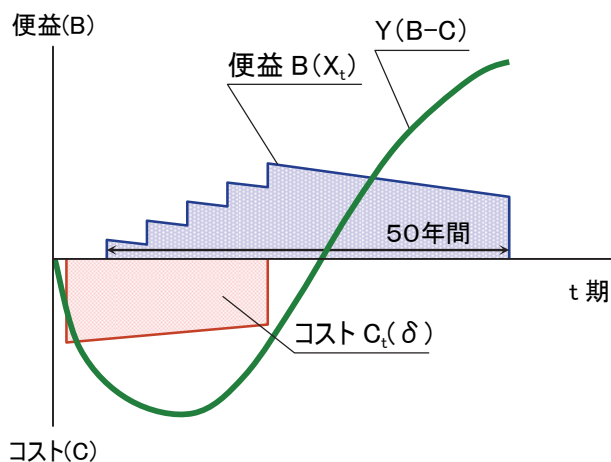


図3.2 評価値（総純便益）のグラフィイメージ

とのゾーン集合を M_q , ゾーン i の居住人口を N_i , 自治体 q の居住人口を N_q とするとき, 各自治体はアクセシビリティ目標として地点 h までの平均移動時間 \bar{T}_q^{re} が T_h^* 以下の達成が求められることをあらわしている.

式(3.7)は, 各時点における総リンク所要時間を最小化することを示すが, 具体的には利用者均衡配分法によって計算する. x_a^t は時点 t におけるリンク a の交通量, t_a はリンク a の旅行時間を示す. なお, 式(3.7)に関する利用者均衡配分の制約条件については後述する.

なおプロジェクト評価の開始時点は, 最初のプロジェクトが着工時点であり, その終了時点は最初のプロジェクトが供用してから50年間後とする.

3.2.2 事業便益計算方法

(1) 交通需要予測モデル（発生・分布・配分結合モデル）

1) 発生交通量モデル

発生交通量モデルは, 式(3.8)に示す一般的な線形モデルを採用する. 説明変数には人口指標の他, アクセシビリティ (ACC) を適用する. なお, アクセシビリティは, 式(3.9)のように目的地分布モデルの効用関数のログサム変数とする.

$$G_i^t = \sum_k \alpha_k X_{ki}^t + \beta ACC_i^t + C \quad (3.8)$$

$$ACC_i^t = \ln \sum_j \exp(V_{ij}^t) \quad (3.9)$$

ここで, G_i^t は時点 t における i ゾーンの発生交通量, X_{ki}^t は時点 t における説明変数 k の i ゾーンの人口指標, ACC_i^t は時点 t における i ゾーンのアクセシビリティ, α, β, C はパラメータである.

2) 目的地分布モデル（目的地選択モデル）

目的地分布モデルは, 発地 i で目的地選択モデルを採用し, 式(3.10)に示すロジットモデルタイプとする. 効用関数は式(3.11)のように一般化費用で表現する. これにより交通需要予測と便益計測に整合性が保たれる²⁾. また一般化費用は式(3.12)のように定義し, 従来の一般化費用 (移動時間 T_{ij} に時間価値 ω を乗じ, 移

動費用 C_{ij} を加算) に, 更に目的地の魅力 (ポテンシャル) を示す S_j を加算することで表現することとした. つまり, 目的地の魅力を示す S_j (例えば商業床面積) を取り扱わない場合 ($S_j = 0$ とする場合), 式(3.12)は従来の一般化費用式と一致する. なお, i ゾーンから感じる j ゾーンの魅力は, 遠方になるほど薄れることを表現するため, 移動時間を乗じた. また, 評価対象とする施設整備事業の整備量を床面積 S_j で表現した場合, その事業採択の有無によって, この S_j が変化するため, 施設整備効果を OD 交通量の変化として反映できることとなる.

$$X_{ij}^t = G_i^t \cdot \frac{\exp(V_{ij}^t)}{\sum_j \exp(V_{ij}^t)} \quad (3.10)$$

$$V_{ij}^t = \theta TC_{ij}^t \quad (3.11)$$

$$TC_{ij}^t = (T_{ij}^t \cdot \omega + C_{ij}^t) + \lambda S_j \cdot (T_{ij}^t)^\gamma \quad (3.12)$$

ここで, V_{ij} は i - j 間の効用関数, TC_{ij} は i - j 間の一般化費用, T_{ij} は i - j 間の移動時間, ω は時間価値 (円/分), C_{ij} は i - j 間の移動に係る費用 (高速料金等), S_j は j ゾーン (目的地) の魅力 (商業床面積等), θ, λ, γ はパラメータである.

3) 交通量配分モデル (利用者均衡配分モデル)

交通量配分モデルには, 式(3.7), 式(3.13)~(3.16)に示す利用者均衡配分法^{3,4)}を採用し, 時点 t における目的関数 Z_t を最大化してリンク交通量を求める. またリンクパフォーマンス関数には式(3.17)を適用する.

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \quad \forall t \quad (3.7)$$

$$x_a^t = \sum_{ij} \sum_k d_{ij,k}^a \cdot f_{ij,k}^t \quad \forall a, t \quad (3.13)$$

$$\sum_k f_{ij,k}^t - X_{ij}^t = 0 \quad \forall ij, t \quad (3.14)$$

$$f_{ij,k}^t \geq 0 \quad \forall ij, k, t \quad (3.15)$$

$$x_a^t \geq 0 \quad \forall a, t \quad (3.16)$$

$$t_a(x_a^t) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a^t}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (3.17)$$

ここで、 x_a^t は時点 t におけるリンク a の交通量、 $t_a = t_a(\omega | \delta_{pt})$ はリンク a の旅行時間であり、道路整備の有無によって関数形が変化する。ただし簡単のため δ_{pt} は以下省略する。 $d_{ij,k}^a$ はODペア $i-j$ 間の経路 k にリンク a が含まれるとき1、含まれないとき0となるダミー変数、 $f_{ij,k}^t$ は時点 t におけるODペア $i-j$ 間の経路 k の交通量、 X_{ij}^t は時点 t におけるODペア $i-j$ 間の交通量、 t_{a0} はリンク a の自由旅行時間、 c_a はリンク a の交通容量、 α, β はパラメータである。

上述のとおり、本研究では各時点 t で確定的利用者均衡配分により、交通量を求めるサブ問題を解いている。すなわち、サブ問題は静的な均衡問題として定式化することにより、上位問題としたネットワーク下の道路事業実施を最適化する問題を動的計画法として定式化する。

(2) 便益計測方法

誘発交通は、式(3.8)の発生交通量モデルを用いて算出する。すなわち、式(3.9)のアクセシビリティは、ログサム変数を用いて発生ゾーンごとに算出する。

1) 期待最小費用

発生ゾーンの期待最小費用は、式(3.18)のように表される⁵⁾。

$$W_i^t = \frac{1}{\theta} \ln \sum_j \exp(\theta TC_{ij}^t) \quad (3.18)$$

ここで、 W_i^t は t 時点の i ゾーンの期待最小費用、 TC_{ij}^t は t 時点の $i-j$ 間の一般化費用、 θ はパラメータである。

2) 便益計測方法

便益計測は、道路整備前後の期待最小費用を比較することで計測される。

$$B(X_t) = \sum_i G_i^t (W_{i,without}^t - W_{i,with}^t) \quad (3.19-a)$$

$$G_i^t = (G_{i,with}^t + G_{i,without}^t) / 2 \quad (3.19-b)$$

誘発交通がない時： $G_{i,with}^t = G_{i,without}^t$

誘発交通がある時： $G_{i,with}^t > G_{i,without}^t$

ここで、 $B(X_t)$ は t 時点の道路整備前後の便益、 G_i^t は t 時点の i ゾーンの発生交通量である。また *with* は整備後、*without* は整備前を、それぞれ示す添字である。

3.2.3 プロジェクトの設定と事業費

1) 事業費と投資期間

道路整備はリンクの特性を変化させるプロジェクトであり、式(3.17)の t'_{a0} 、 c_a に影響する。例えば、線形改良や走行環境の改善は、規制速度を向上させ、自由旅行時間 t'_{a0} を低下させる。一方で、道路拡幅は交通容量 c_a を増加させる。これらの変数を通じて、経路所要時間が短縮することによって、採択されたプロジェクトの実施効果がNPVに反映される。

プロジェクト p の投資期間 τ_p は、総事業費 C_p に応じて定まると仮定して、式(3.20)によって設定する。一方で t 期の事業費は、総事業費 C_p が投資期間 τ_p で均等分割されると仮定して、式(3.21)によって設定する。

$$\tau_p = \rho (\ln(C_p))^\mu \quad (3.20)$$

$$C_{pt} = C_p / \tau_p \quad (3.21)$$

ここで、 ρ と μ は正のパラメータである。図3.3に式(3.20)の事業費（事業規模）と投資期間の関係イメージを示す。通常、事業規模が大きくなると投資期間は長くなるが、その関係は比例的ではないため、対数関数として定義している。

以上の議論より本モデルでは、各プロジェクトの事業費と年次投資可能額を外生的に設定して、そのもとで最適な整備順序を決定する問題を設定する。なおこのほかに、社会が満たすべきシビルミニマム要件に必要なプロジェクトに必要な予算を積算するといった問題設定も考えうるが、ここでは取り扱わない。

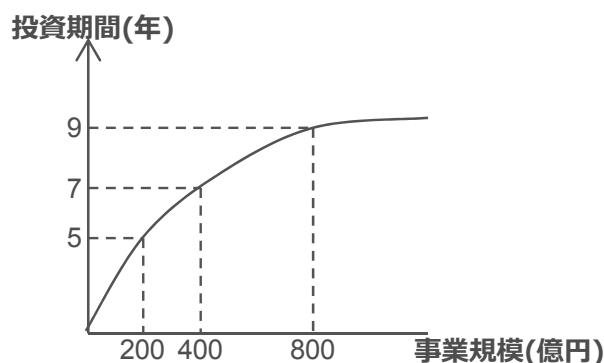


図3.3 事業規模と投資期間の関係イメージ

2) 各プロジェクトの供用年の設定方法

各プロジェクトの供用年は、以下のルールに従って算定する。

- 各プロジェクトの年間投資額は事業コスト関数（式(3.21)）で設定される
- t 期における各プロジェクトの事業投資は、遺伝子で設定される整備順序に従って年間の予算フレームまで積み上げる
- 予算枠を超えるプロジェクトは不足分を翌年に繰り越す
- 供用年は投資が完了した翌年とする

このルールに従って算出される t 期の事業費（年度別事業費）と供用年設定のイメージを表3.1に示す。

なお、この設定の下で事業費は、全て評価開始時点、つまり最初の事業の着工時点で評価していることになる。すなわち、将来実施する事業のコストは便益と同様に、現在価値換算される。また、予算に各年次枠が存在することにより、単年の事業の組み合わせによっては、実施不能になる場合がある。しかしその場合であっても、本研究では不足分を翌年繰り越しとして供用年が遅延する設定としているため、事業実施そのものが不可能なわけではなく、単に便益の発現が遅くなるため、評価値が低下する構造となることに注意する必要がある。

表3.1 各プロジェクトの年度事業費・供用年設定

順序	プロジェクト (遺伝子順序)	事業費	投資 期間	年次別投資額(億円)									供用 年
				H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	...	
1	施設e	50億円	3年	16.7	16.7	16.7							H27
2	道路⑥暫定	250億円	6年	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7				H30
3	道路⑩暫定	300億円	7年	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9			H31
4	道路⑭	250億円	6年	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7				H30
5	道路⑮	300億円	7年	37.1	37.1	37.1	53.8	49	42.9	42.9			H31
6	道路⑦⑧暫定	350億円	7年					4.76	11	94.3	90	...	
...				・予算フレームまで投資 ・不足は翌年に繰り越し									
合計 (予算 フレーム)	-	-	-	180	180	180	180	180	180	180	180	...	

3.2.4 事業区間の内生化方法

本研究で想定するプロジェクト選択肢は、1)それ以上の事業単位の分割ができない最小の個別事業、および、2)ネットワーク外部性が発揮される可能性のある個別事業の部分集合に対して設定した一括事業、の2種類によって構成する。複数プロジェクトを一括採択するメリットの一つは、式(3.20)で定義したプロジェクト投資期間が短縮されることにある。さらに、図3.3に示したように、事業規模が大きくなっても、その事業コストは事業期間に対して比例的には増加しないと仮定しているため、結果として事業費が圧縮される設定となっていることになる。

図3.4に、単独事業と複合化事業の事業期間の違いを模式的に示す。Ⅰ期とⅡ期の区間をそれぞれ単独で扱うと投資期間は各5年だが、Ⅰ＋Ⅱ期区間を同時に整備すると、同じ事業費でも短期間（Ⅰ期が4年、Ⅱ期がその後3年の計7年）で整備できるメリットが発生する。このような効果は、実際には、施工の効率改善や大規模事業の重点投資等により発生する。

ただし、Ⅰ期区間、Ⅱ期区間に同時に投資する場合は最短5年で両事業が完了するなど、トータルとしては、単独扱いの方が供用が早まる場合もある。その点は便益の発現時点の違いとして考慮される。また同一区間に対する2車線暫定や4車線完成などの事業オプションは、たとえば、2車線暫定で早くネットワーク化する場合の投資期間は5年と設定し、4車線整備する場合の投資期間は7年と設定することにより、現実的な工期設定となるように配慮した。

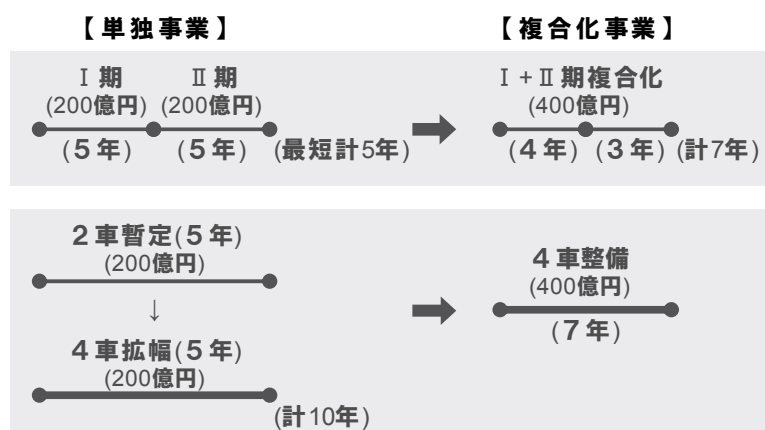


図3.4 単独事業と複合化事業の事業期間の違い

以上の事業選択肢の中から、NPVを最大にする事業区間の組み合わせを求めることにより、効率的な事業採択が内生化される。

3.2.5 解析方法

提案モデルは、整数制約を含む動的な組み合わせ最適化問題である。実際のプロジェクト評価では、候補となるプロジェクトの数が多い場合や、想定する道路ネットワークが複雑な場合、さらにアクセシビリティに関する制約条件はゾーン数に比例しても多くなるため、結果的に膨大な次元の解空間の中から最適解を求めなくてはならない、NP困難な場合がありうる。遺伝的アルゴリズム(GA)は、近似的に最適解を求めることができる手法^{6,7,8,9)}であり、複雑な動的計画法の解析に多く適用されている^{10,11,12)}。そこで本研究においても、解析方法としてGAを適用する。

GAは、1)初期解集合の設定、2)評価、3)終了判定、4)遺伝演算の適用の4つの基本プロセスから構成される。以下、各プロセスについて、本研究で構築したシステムの概要を述べる。

1) 初期解集合の設定

本システムで探索する解は、最適なネットワークの段階的整備プロセス、すなわち、プロジェクト実施順序である。そこで、各プロジェクトに一意的なナンバリングを付した上で、そのナンバーを遺伝子(gene)とする。そして、採択するプロジェクトの数だけ遺伝子座(locus)を用意する。先頭の遺伝子座に置

かれている遺伝子に該当するプロジェクトから順に実施するものとして、遺伝子を各遺伝子座に配することにより一つの個体 (individual) を構成すれば、ネットワークの段階的整備プロセスを表現することができる。解探索開始時には、上記個体をランダムに複数生成し、初期集合とする。なお、以下各遺伝子座にプロジェクトナンバーを配した遺伝子情報を染色体と呼ぶ。

2) 評価

本研究では、段階的整備プロセスの適合度として、3.2.1で述べたように、全プロジェクト完了時の総純便益を用いる。各個体の総純便益は、各個体の遺伝情報に基づいて順にプロジェクトを実施する際に、各時点で完了した事業集合を反映した参照ネットワークの下で発生する便益を逐次計測して算出する。

3) 終了判定

終了条件は、最適化基準としている総純便益の安定性とする。具体的には、最も高い総純便益を与える個体が50世代以上続いた場合、演算を終了することとした。一方で、そのような個体の継続が50世代に満たない場合は、次に述べる遺伝演算を適用し、解集合を更新する。

4) 遺伝演算の適用

個体の総純便益をその個体の適応度として、以下の遺伝演算を適用する。

○選択（再生）

次世代の親となる個体の選択を行う際には、計測した適応度をもとに、エリート保存選択 (Elitist Preserving Selection) ならびにルーレット選択 (Roulette Selection)¹³⁾を用いた。エリート保存選択とは、適応度の最も高い個体を、そのまま次世代に残す選択方法である。また、ルーレット選択とは、適応度の高い個体ほど、次世代の個体を生成する（親）確率を高くする方法である。

○交叉

親個体の集合を対象として、交叉を行う。交叉方法としては、一点交叉と一様交叉手法を適宜使用した。

一点交叉とは、親となる2個体に共通する遺伝子座の1点をランダムに選び、

その前後で各個体の遺伝子を切断して相互に遺伝情報を入れ替える操作である。しかし、本研究で対象としている段階的整備プロセスの最適化問題の場合、単純な一点交叉では、交叉後の染色体の中に、同じプロジェクトが2回出現する状況が生じ得る。そこで、2回出現した場合は交叉点を取り直した。さらに次の交叉でもプロジェクトが重複する場合は親個体の選択のやり直しを繰り返すことによって、この問題を回避している。

一様交叉は、親個体の同じ遺伝子座の入替えである。入替えを行う遺伝子座の決定は、乱数を用いてランダムに設定する。なお一点交叉と同様に、交叉後に同じプロジェクトが2回出現する場合は、入替え遺伝子座の取り直しを行い、それでも問題がある場合は、親個体の選択やり直しを繰り返す。

○突然変異

突然変異として、親個体の染色体から2つの遺伝子座をランダムに選択して、交換する方法を用いた。突然変異確率は、個体群の多様性に応じて0.1～0.7の値を適宜用いた。また、エリート個体については、交叉とは別に毎世代突然変異を発生させた。つまり、次世代の親個体としてエリート保存選択を行うが、その親として保存された2個体のうち、1個体を必ず突然変異させた。これは遺伝子型がそのまま実施順序として表現型につながる設定とした本GAにおいて、エリート個体の遺伝子を1部交換することによって進化のデッドエンドを回避することが可能となり、より適応度の高い個体、つまり総純便益の高い整備順序が導きやすいと考えたためである。

以上が本研究で構築したGAシステムの概要である。図3.5に、評価関数や制約条件、交通需要予測モデル等を含む本研究での求解フローを、また図3.6に個体の遺伝子設定を、それぞれ示す。

各個体に関する評価関数は、式(3.2)である。先述したように、交叉や突然変異によって、式(3.4)及び式(3.5)、式(3.6)の制約条件に反する個体が発生する場合があるが、そのような個体は次世代の遺伝子に関する淘汰を行う際に、不適切な遺伝子（致死遺伝子）を持つ個体として淘汰する。

ここで、個体数は10個体を基本とした。各個体の遺伝子情報は、道路整備の整備順序を表現しており、その情報を予算制約を満たすプロジェクト供用時点と共に、評価期間中の各時点のネットワークデータ（リンク）に反映する。道路整備に従ってOD交通量、リンク交通量を計算する。OD交通量は式(3.8)～(3.12)のように各ゾーンの発生交通量、集中交通量及びゾーン間所要時間より計算する。リンク交通量は道路整備の影響を受ける式(3.17)のリンクパフォーマンス

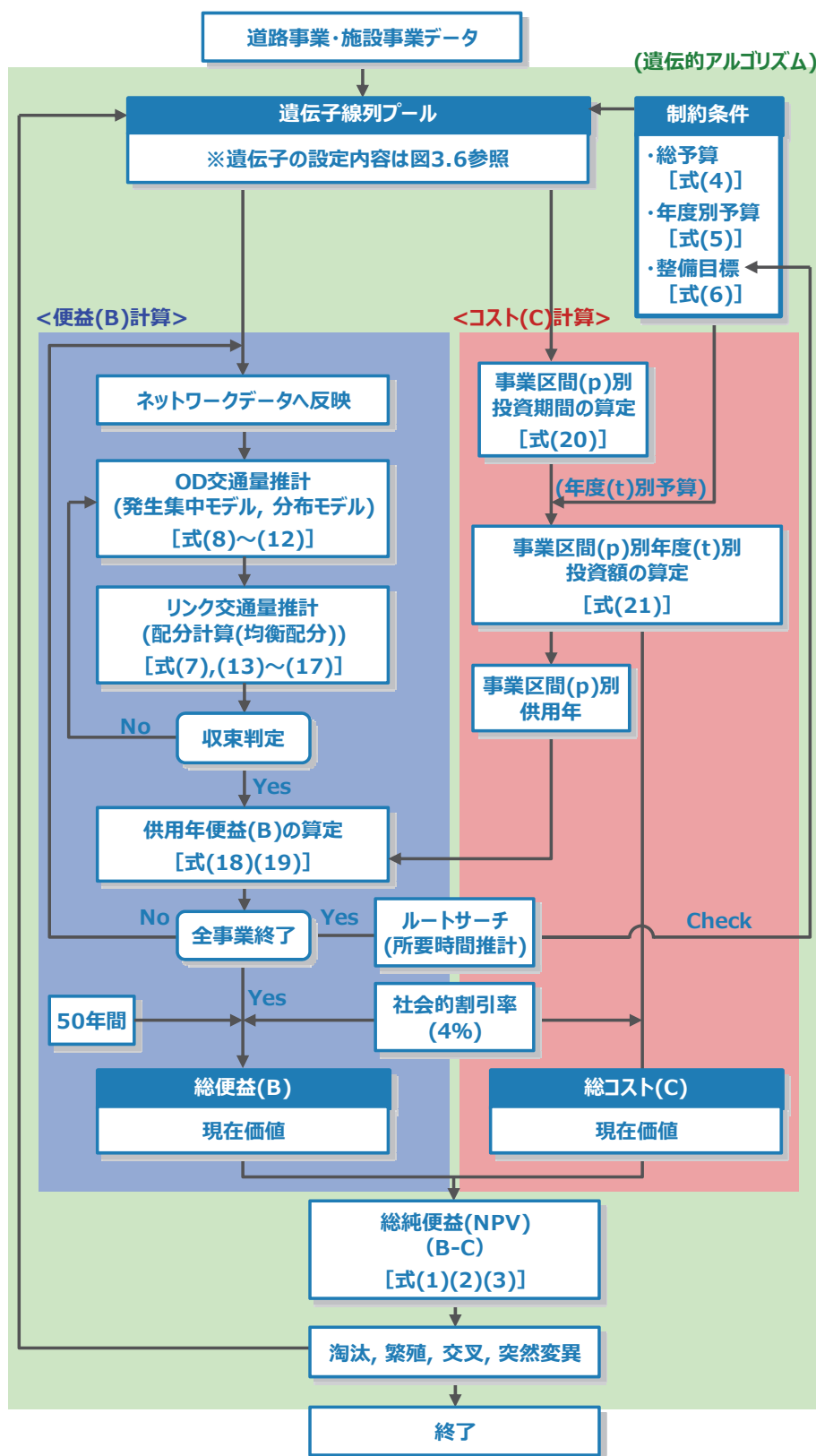


図3.5 遺伝的アルゴリズムによる求解フロー

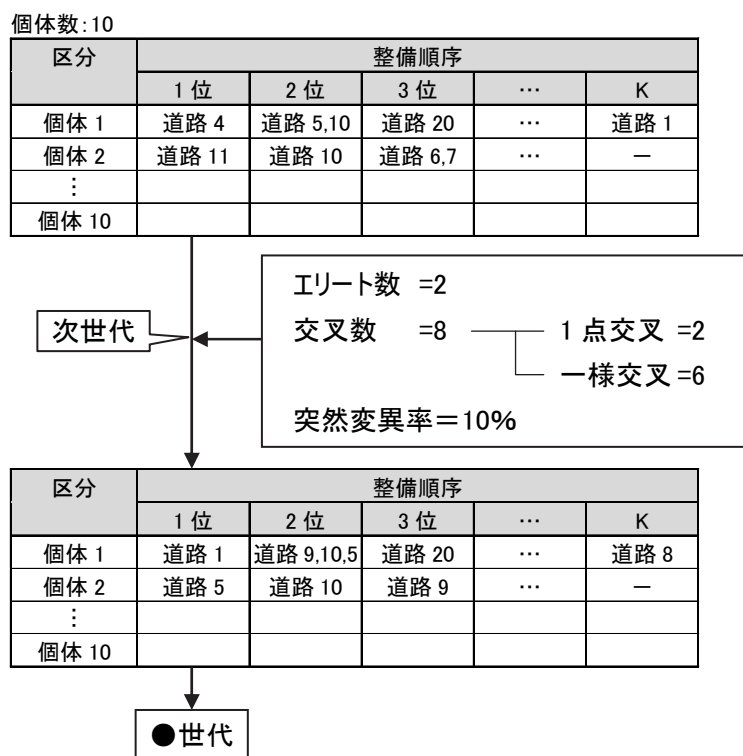


図3.6 遺伝子と個体の設定

ス関数のもと，式(3.7)および式(3.13)～(3.16)の利用者均衡配分法によって求める．特に誘発交通を考慮したケースでは，OD交通量とリンク交通量は共にOD所要時間の関数となる．すなわち，式(3.17)のリンクパフォーマンス関数が正則条件を満たすとき，最適解ではこれら3変数が均衡するため，どの変数の均衡に着目しても良い．そこで最適解の均衡条件として，これら3変数のうち，OD交通量の安定性に着目して収束計算を行う．これにより各ODの所要時間はリンク交通量推計結果から得られ，供用年便益，総純便益（NPV）が計算される．

以上の手順によって，評価値の低い個体や制約条件を満たさない個体を淘汰しつつ，適応度の向上が一定の世代交代（本研究では50世代）を経ても見られなくなるまで世代更新を繰り返す．近似最適解は，計算終了時に最もNPVが高い個体の遺伝子情報であり，その値に対応する採択事業及び整備順序が近似最適解である．

第3章の参考文献

- 1) 国土交通省道路局 都市・地域整備局：道路事業・街路に係る総合評価要綱，2009.
- 2) 円山琢也：交通需要のレベル別便益指標の一致性，土木学会論文集 D，Vol.62，No.3，pp.460-473，2006.
- 3) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第Ⅰ編 利用者均衡配分の適用に向けて，丸善(株)，2003.
- 4) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第Ⅱ編 利用者均衡配分モデルの展開，丸善(株)，2006.
- 5) 城所幸弘，金本良嗣：「第6章 ロジット型モデルと費用便益分析」，道路投資の便益評価（東洋経済新報社），pp.161-202，2008.
- 6) D. E. Goldberg : Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- 7) 三宮信夫，喜多一，玉置久，岩本貴司：遺伝アルゴリズムと最適化，朝倉書店，1998.
- 8) 坂和正敏，田中雅博：遺伝的アルゴリズム，朝倉書店，2000.
- 9) 伊庭斉志：Excel で学ぶ遺伝的アルゴリズム，オーム社，2005.
- 10) 美濃雄介，青山吉隆，中川大，松中亮治，赤堀圭佑：都市内高速道路網における拡張プロジェクト実施順序に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.19，pp.619-626，2002.
- 11) 松中亮治，谷口守，舩岡田渡史：複数の段階的整備プロセス決定基準における非採択プロジェクトの採択可能性に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.22，pp.667-674，2005.
- 12) 青山吉隆，松中亮治，野村友哉：大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用，運輸政策研究，Vol.5，pp.2-13，2002.
- 13) 電気学会 GA 等組合せ最適化手法応用調査専門委員会：遺伝アルゴリズムとニューラルネットスケジューリングと組合せ最適化，コロナ社，1998.

第4章 道路事業の段階的採択時のネットワーク外部性の評価

本章では、提案する動的な道路事業評価モデルの特徴となっている「ネットワーク外部性」を考慮する有効性を、数値シミュレーションを用いて検証する^{1,2)}。具体的には、ネットワーク外部性を考慮しない従来の事業採択ルールとの比較を行う。

4.1 ケーススタディの概要

複数の道路事業を対象に事業評価を行う場合、それらが同一の道路ネットワーク上にある限り、一方の整備によって経路所要時間やリンク交通量が変化するため、他方の整備効果も変化し得る。すなわち各事業が相互に影響するネットワーク外部性を考慮する必要がある。そこでケーススタディとしては、ネットワーク外部性を考慮することなく、複数の道路事業をそれぞれ単独で評価した優先度から整備順序を決定したシナリオ1と、ネットワーク外部性を考慮した提案モデルのシナリオ2について、それぞれ定まる個別プロジェクトの整備順序と、総純便益（NPV）について、違いを検証する。なお、前者のネットワーク外部性を考慮しないシナリオ1は、全整備予定事業が完成した状態から評価対象事業を除いたフルネットー1型の評価ではなく、評価対象事業のみを対象ネットワークに付加した現況ネット+1型の評価方法としている。これは従来、実務で分析されている単独事業評価による整備順序決定を想定したケースである。

表4.1 ケース概要

シナリオ No.	シナリオ 1	シナリオ 2
分析内容	ネットワーク外部性の考慮なし	ネットワーク外部性を考慮
整備順序評価ネットワーク	静的ネットワーク	動的ネットワーク
評価対象事業	道路事業（全20事業）	（同左）

図4.1にシナリオ1と2の分析の流れを示す。両シナリオとも、採択可能性のある道路事業数は20事業とする。これらの内容は、次節で紹介する。シナリオ1は、各事業を単独採択した場合のリンク交通量の推計と、総純便益の計算を行い、

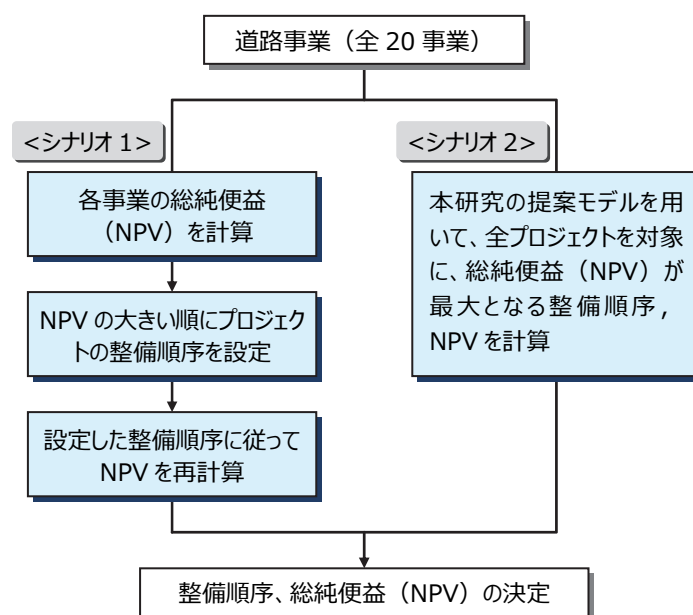


図4.1 シナリオ1,2の分析の流れ

それらを降順として並べ替えることによって，整備順序を決定する．次に決定した整備順序に従って，NPVを再計算する．すなわち，シナリオ1において各事業を評価する際の参照ネットワークは，当該の評価対象事業を除いて全て同一の「静的ネットワーク（＝ネットワーク外部性を考慮しない）」である．一方でシナリオ2は，提案モデルにより，整備順序とNPVを決定するため，参照ネットワークは，事業評価タームごとに異なる「動的ネットワーク（＝ネットワーク外部性を考慮する）」となる．

4.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定

本章でシミュレーションするために用意した評価対象エリアと仮想ネットワークは，図4.2に示すとおりであり，リンク数は124，ゾーン数は31（うち24～31は流出入ノード）である．このエリアの想定は，都市部と中山間地が混在する県レベルをイメージしている．

想定プロジェクトを表4.2に示す．リンク上に示す道路整備事業は，高規格幹線道路，バイパス事業，拡幅事業，および線形改良に相当する計20事業を設定した．バイパス事業，拡幅事業は都市部における混雑緩和のためのプロジェクトであり，高規格幹線道路，線形改良は中山間地における交通サービスの向上，

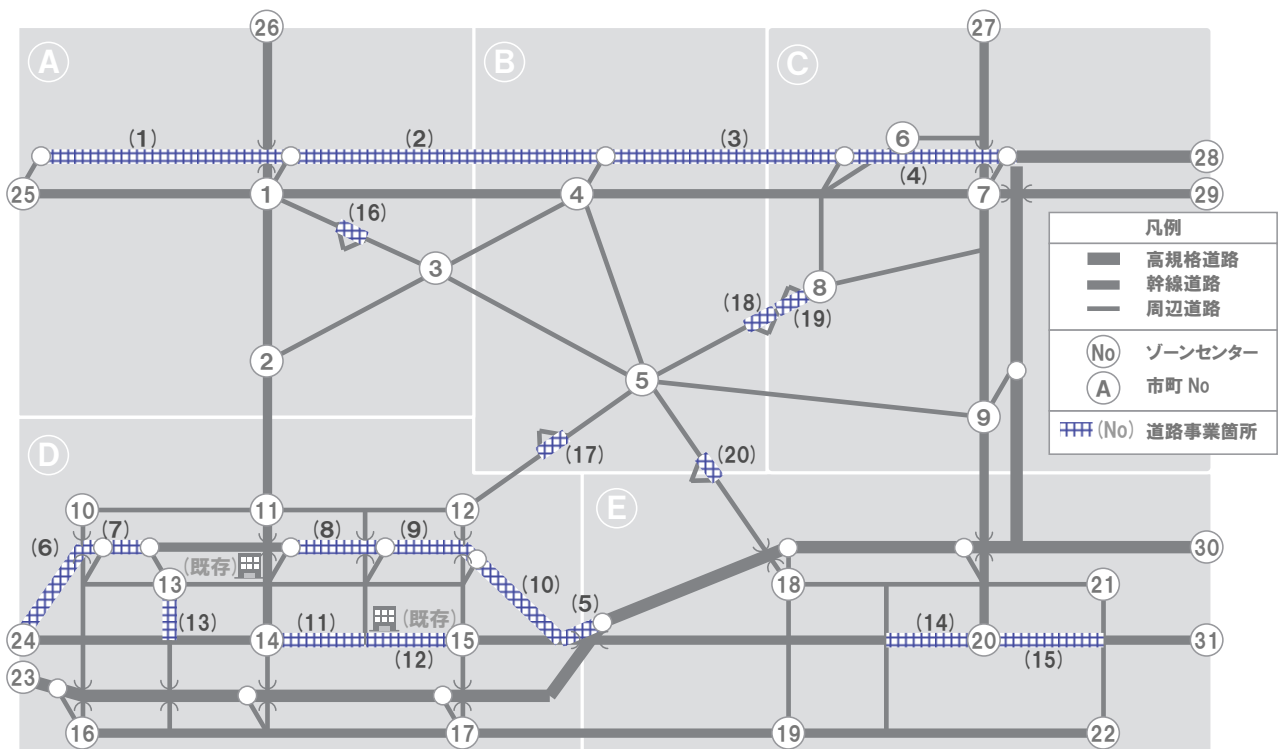


図4.2 評価対象エリア・ネットワーク

表4.2 道路事業の設定

区分	プロジェクト (p)	延長 (km)	整備概要				事業費 (億円) (Cp)
			整備前		整備後		
			速度	車線数	速度	車線数	
高規格 幹線 道路 (IC線)	01	13.6	未整備	未整備	70	2車	700
	02	17.2	未整備	未整備	70	2車	900
	03	13.4	未整備	未整備	70	2車	650
	04	8.4	未整備	未整備	70	2車	400
	05	1.4	未整備	未整備	50	2車	50
バイ パス	06	6.2	未整備	未整備	50	4車	400
	07	4.5	未整備	未整備	50	4車	250
	08	5.1	未整備	未整備	50	4車	300
	09	5.2	未整備	未整備	50	4車	300
	10	7.7	未整備	未整備	50	4車	450
拡幅 事業	11	5.0	50	2車	50	4車	250
	12	5.0	50	2車	50	4車	250
	13	3.0	40	2車	40	4車	150
	14	5.0	50	2車	50	4車	250
	15	6.1	50	2車	50	4車	300
線形 改良	16	1.7	30	1車	40	2車	50
	17	1.5	30	1車	50	2車	50
	18	1.8	40	2車	50	2車	50
	19	1.9	40	2車	50	2車	50
	20	2.5	30	1車	40	2車	100

例えば都市部等の生活機能集積地域へのアクセス性向上を想定している。

上述の通り、想定プロジェクトは高規格幹線道路から線形改良まで多様な道路事業を含んでいる。従来の道路事業評価では、交通機能によって定義される道路ネットワークの階層構造を踏まえて、異なる階層に属する（交通機能をもつ）道路事業は、各階層ごとに事業効果が評価されることが多かった。しかしながら、特に地方部の道路網では、国幹道が十分に整備されていないために国道バイパスに広域ODとなる通過交通と起終点が狭域に収まるような生活交通が混在するなど、標準的な道路計画が想定する道路の階層構造が、利用実態と乖離している場合もある。このような現状を踏まえて、本研究では交通機能が異なる道路事業を同時に扱い、多様な交通（通過、流出入、内々交通）が含まれると想定したシミュレーションを実施して、得られる最適解を観察することとした。

4.3 シミュレーションケースの設定

4.3.1 ケース設定

ネットワーク外部性を検証するためのシナリオとして、表4.3に示す2ケースを用意する。両シナリオとも20道路事業を対象として整備順序・総純便益を算出するが、整備順序の決定方法のみ異なる。シナリオ1は、静的ネットワーク下で計算された、ネットワーク外部性を考慮していない整備順序である。一方、シナリオ2は提案モデルを適用した動的なネットワーク最適化によって得られ

表4.3 ケース設定

シナリオ No.	シナリオ 1	シナリオ 2
評価対象事業	道路事業（全20事業）	（同左）
整備順序評価ネットワーク	静的ネットワーク	動的ネットワーク
整備順序決定方法	各単独事業ごとに計算した 総純便益の大きさ順	提案モデルによる 最適化計算
全評価対象事業の 段階整備による総純便益 の計算	上記整備順序に従った 段階整備による単年度 便益の積上げ	
各年度の発生交通量	発生交通量固定	（同左）
予算制約等の制約条件	制約なし	（同左）

る整備順序である。なお、その他の前提条件は両シナリオとも同じである。特に各年度の発生交通量については、後述の表4.4に示すモデル係数設定により、整備有無によらず固定として、整備順序の違いに伴うOD交通量と利用ルート変化のみ反映することとした。

4.3.2 シミュレーションモデルの設定

第3章で定式化した提案モデルをベースに、本章でのシミュレーションモデルを整理する。すなわち、上記で設定したシナリオを比較検証するために、一部のモデル式を変更して適用する。

(1) 目的変数と制約条件

目的変数は第3章と同様、式(4.2)で表されるNPVとする。シナリオ1での整備順序設定後のNPVの再計算も式(4.2)を用いる。なお、本シミュレーションでは、純粋なネットワーク外部性に着目するため、予算制約は設けず、その代わりに20道路事業全てを整備することを条件とする。このため、式(4.4)を制約条件として追加する。以下に本シミュレーション分析の目的変数と制約条件を示す。

$$\max_{\delta} Y \quad (4.1)$$

$$Y = \sum_t \frac{1}{(1+r)^{t-1}} (B(X_t) - C_t(\delta)) \quad (4.2)$$

$$\text{s.t. } \delta \in \{0,1\}, \forall t, \forall p \quad (4.3)$$

$$\sum_t \delta_{pt} = 1, \forall p \quad (4.4)$$

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \forall t \quad (4.5)$$

(2) 交通需要予測モデル

本章のシミュレーションは、ネットワーク外部性を加味する有効性の検証を中心として行う。具体的には、事業評価の際の参照ネットワークが静的、または動的のいずれかによって生じるNPVと整備順序の違いに着目する。その際、ネットワーク整備が進むことによって起こるサービス水準の改善効果を経路配分交通量に限定して考慮する。つまり、発生・集中交通量への影響は考慮しない。したがって本章の提案モデルは、従来手法の課題として挙げた誘発交通を考慮したモデルではなく、従来実務で適用されることの多かった下記モデルを適用する。

1) 発生交通量モデル・集中交通量モデル

発生交通量モデル・集中交通量モデルは、式(4.6a),(4.6b)で示す一般的な線形モデルとする。

$$G_i^t = \sum_m \lambda_m V_{i,m}^t \quad (4.6a)$$

$$A_j^t = \sum_n \gamma_n W_{j,n}^t \quad (4.6b)$$

ここで、 G_i^t と A_j^t は t 期におけるゾーン i, j の発生交通量と集中交通量を示す。 $V_{i,m}^t$ と $W_{j,n}^t$ は t 期におけるゾーン i, j の m または n 番目の説明変数である。なお本ケースにおいて右辺に現れる変数は、表4.2の候補事業の実施によって変化しない。つまり、発生集中交通量は、シミュレーションにおいて外生である。 λ, γ, c はパラメータである。

2) 分布交通量モデル

分布交通量モデルは、上記の発生交通量 G_i^t ・集中交通量 A_j^t を所与として算出される一般的な式(4.7)の重力モデルとする。

$$x_{ij}^t = c \frac{G_i^t A_j^t}{T_{ij}^t} \quad (4.7)$$

ここで、 x_{ij}^t は t 期におけるゾーン i, j 間のOD交通量、 T_{ij}^t はゾーン i, j 間のOD所要時間である。 c はパラメータである。

3) 交通量配分モデル（利用者均衡配分モデル）

リンク交通量は、式(4.5)、式(4.8)～(4.11)の利用者均衡配分法によって算出する。リンクパフォーマンス関数には式(4.12)を用いる。

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \quad \forall t \quad (4.5)$$

$$x_a^t = \sum_{ij} \sum_k d_{ij,k}^a \cdot f_{ij,k}^t \quad \forall a, t \quad (4.8)$$

$$\sum_k f_{ij,k}^t - X_{ij}^t = 0 \quad \forall ij, t \quad (4.9)$$

$$f_{ij,k}^t \geq 0 \quad \forall ij, k, t \quad (4.10)$$

$$x_a^t \geq 0 \quad \forall a, t \quad (4.11)$$

$$t_a(x_a^t) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a^t}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (4.12)$$

(3) 事業便益計算モデル

年度便益 $B(X_t)$ は、式(4.13)に示す各年度の消費者余剰として定義する。

$$B(X_t) = B(X_t^w) - B(X_t^{wo}) \quad (4.13)$$

ここで、 X_t^w と X_t^{wo} は採択プロジェクトの整備時と未整備時のリンク交通ベクトルである。

4.3.3 モデル係数等の設定

シナリオ1と2について、上記モデルのパラメータを表4.4のとおり設定する。発生交通量モデルの説明変数は居住人口とするが、その値は評価期間中一定とした。集中交通量モデルも便宜的に発生交通量モデルと同じにした。一方、分布交通量（OD交通量）は式(4.7)に示す重力モデルであり、分母をゾーン間所要時間としているため、道路整備に伴うOD所要時間の短縮に従ってOD交通量は若干変化する。

発生・集中交通量モデル、及び事業費モデルのパラメータは、実務上の経験則から設定した。リンクパフォーマンス関数のパラメータは、既往研究³⁾を参考に設定した。

表4.4 モデル係数等の設定

区分	内容
発生交通量モデル	発生量 $it = 0.16 \times (\text{居住人口})_{it}$ ただし、居住人口は t によって変化しない(固定)とする。
集中交通量モデル	集中量 $it = 0.16 \times (\text{居住人口})_{it}$ 便宜的に発生交通量モデルと同じとする。前提条件も同じ。
分布交通量モデル	分布交通量 ijt $= 1.0 \cdot \text{発生量}_{it} \cdot \text{集中量}_{jt} / \text{所要時間}_{ijt}$
事業費モデル	事業期間 $p = 0.1 \times \ln(\text{事業費}_p)^{2.4}$
リンクパフォーマンス関数 (BPR関数)	所要時間 $= \text{自由旅行時間} \times (1 + 0.48 \times (\text{交通量}/\text{容量})^{2.82})$ 容量, 自由旅行時間(=自由速度)は道路種別別沿道状況別車線数別に設定。

4.4 シミュレーション結果

(1) GAによるシミュレーション結果の頑健性の検証

遺伝的アルゴリズム（GA）は近似最適解を求める手法のため、一意な最適解が求まるものではない。そのため、1世代あたりの個体数設定などのGAパラメータの設定が求解効率や最適性に及ぼす影響を検討する、解の頑健性の確認が重要となる。そこで、シナリオ2について、GAパラメータの設定を数ケース用意し、各ケースの最適解を比較することにより頑健性の検証を行う。

表4.5に頑健性検証のためのケース設定を示す。ケース1は1世代あたりの個体

表4.5 頑健性検証ケースの設定

GAパラメータ		ケース1			ケース2		
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
1世代あたりの個体数		10個体			20個体		
交叉方法	エリート個体	2個体	2個体	2個体	4個体	4個体	4個体
	一点交叉	2個体	4個体	6個体	4個体	8個体	12個体
	一様交叉	6個体	4個体	2個体	12個体	8個体	4個体

数を10個体，ケース2は20個体としたケースである．またケース1，2について，さらに交叉方法として以下の3種類のエリート保存選択，一点交叉，一様交叉に着目して，それぞれ3種類の個体数を用意して，全部で9種のサブケースを設定した．

図4.3に各検証ケースの世代ごとの最適適応度の推移を示す．1-1①，1-2②と示すように，各検証ケースに対して2回の計算を行った．本シミュレーション分析における適応度は総純便益である．同図より，概ね200世代あたりから，各検証ケースとも総純便益は収束しており，それらの最終的な総純便益は概ね350億円弱で同一となっている．すなわち本GAの求解方法について，頑健性が示された．また，繰り返し計算を行う世代数は，概ね300世代程度とすると，概ね収束・安定すると考えられる．

なお，既往研究^{4,5)}や本シミュレーションの対象事業を参照すると300世代は少ないように感じられるが，結果的に解は収束している．この理由として，本モデルで算出する整備順序が一部前後しても，結果的に同じ総純便益になる染色体が存在するためと考えられる．つまり，整備順序が『No.1⇒No.2⇒No.3⇒・・・』という個体Aと，『No.2⇒No.1⇒No.3⇒・・・』という個体Bは，No.1とNo.2の順序が逆のため，別個体である．ただし，事業投資後の供用年について，個体Aが『No.1(a年)⇒No.2(a年)⇒No.3(b年)⇒・・・』，個体Bが『No.2(a年)⇒No.1(a年)⇒No.3(b年)⇒・・・』であれば，No.1とNo.2が同じa年供用となり，a年に発生する便益が等しくなる．つまり個体Aと個体Bの総純便益は等しくなる．以上より，本研究の場合，見かけの染色体が異なる個体の個体Aと個体Bであっても，供用年と総純便益が同じであることがあり，同一解と判断できる場合があると言える．これらを踏まえると，本研究ではGAの設定を決することにより，一層計算の効率化を図ることができる可能性があるが，この点は今後の課題とする．

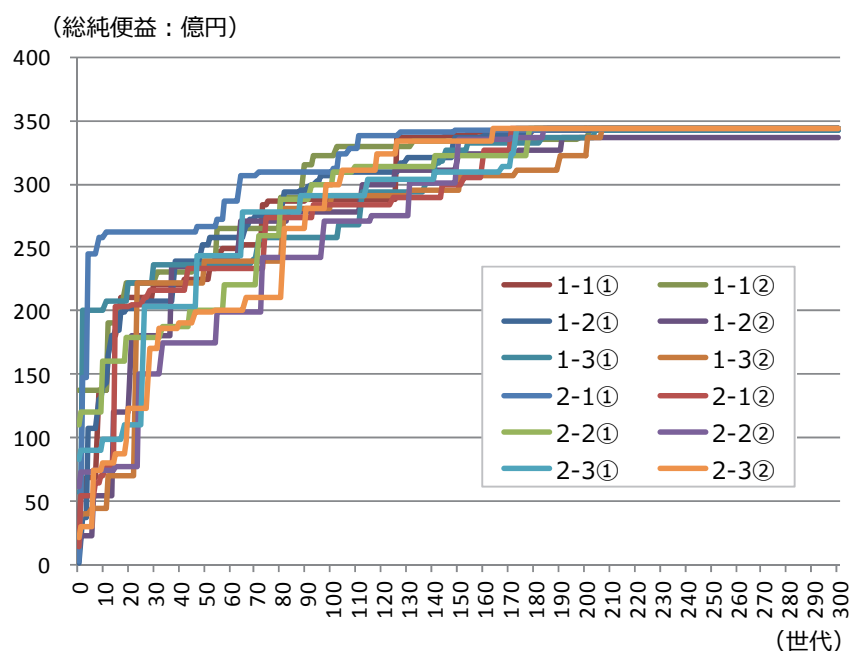


図4.3 頑健性検証ケース毎の適応度(総純便益)の推移

(2) 整備順序の比較

各シナリオにおける整備順序，供用年，および年度便益を表4.6に，また整備順序の違いを図4.4に，それぞれ示す。

整備順序が最初の事業を比較すると，シナリオ1は整備効果（NPV）が最も大きいバイパス事業のNo.6が採用されているのに対して，シナリオ2は比較的小規模な高規格道路のICアクセス道路のNo.5が採用されている。また中山間地の線形改良をイメージした比較的小規模なNo.18は，シナリオ1では14番目に対して，シナリオ2では2番目となっている。以上からシナリオ2では，比較的小規模で供用時点の早い事業は早期の効果発現を狙った整備順序になっている。

シナリオ1の整備順序の全体的な傾向は，以下のとおりである。バイパス事業や拡幅事業といった都市部に位置する交通需要・便益が大きい事業を先行して実施し，中山間地等の線形改良事業，高規格幹線道路が後半となっている。これは，単独事業として各事業のNPVを算出し，その大きさの順に整備順序を設定したためと考えられる。

一方シナリオ2の整備順序の全体的な傾向に着目すると，高規格幹線道路へのICアクセス道路や中山間地の線形改良といった比較的小規模であるがゆえに早期に効果が発現する事業をまず実施して，その後バイパス事業，拡幅事業とい

表4.6 シナリオ1と2の整備順序と年便益

整備 順序	シナリオ 1				シナリオ 2			
	供用年 (t 期)	供用 プロジェクト	プロジェクト 種類	年便益(億 (累積,単純価値)	供用年 (t 期)	供用 プロジェクト	プロジェクト 種類	年便益(億 (累積,単純価値)
1	8	6	バイパス	43	4	5	IC線	12
2	8	11	拡幅	70	4	18	線形改良	14
3	8	12	拡幅	97	7	7	バイパス	19
4	8	14	拡幅	122	7	11	拡幅	42
5	8	15	拡幅	156	7	12	拡幅	72
6	8	8	バイパス	164	7	14	拡幅	93
7	8	5	IC線	170	8	6	バイパス	148
8	9	10	バイパス	207	8	15	拡幅	182
9	13	13	拡幅	211	9	10	バイパス	216
10	15	9	バイパス	227	11	19	線形改良	221
11	15	19	線形改良	229	11	16	線形改良	222
12	15	16	線形改良	232	11	17	線形改良	225
13	15	17	線形改良	233	12	20	線形改良	227
14	15	18	線形改良	237	15	9	バイパス	241
15	15	20	線形改良	238	15	8	バイパス	257
16	16	4	高規格	246	16	4	高規格	264
17	16	7	バイパス	265	16	13	拡幅	265
18	18	3	高規格	272	18	3	高規格	272
19	21	1	高規格	282	22	2	高規格	288
20	25	2	高規格	298	25	1	高規格	298
総純便益 (50年間, 現在価値)				291 (参考: B/C=1.07)	343 (参考: B/C=1.09)			

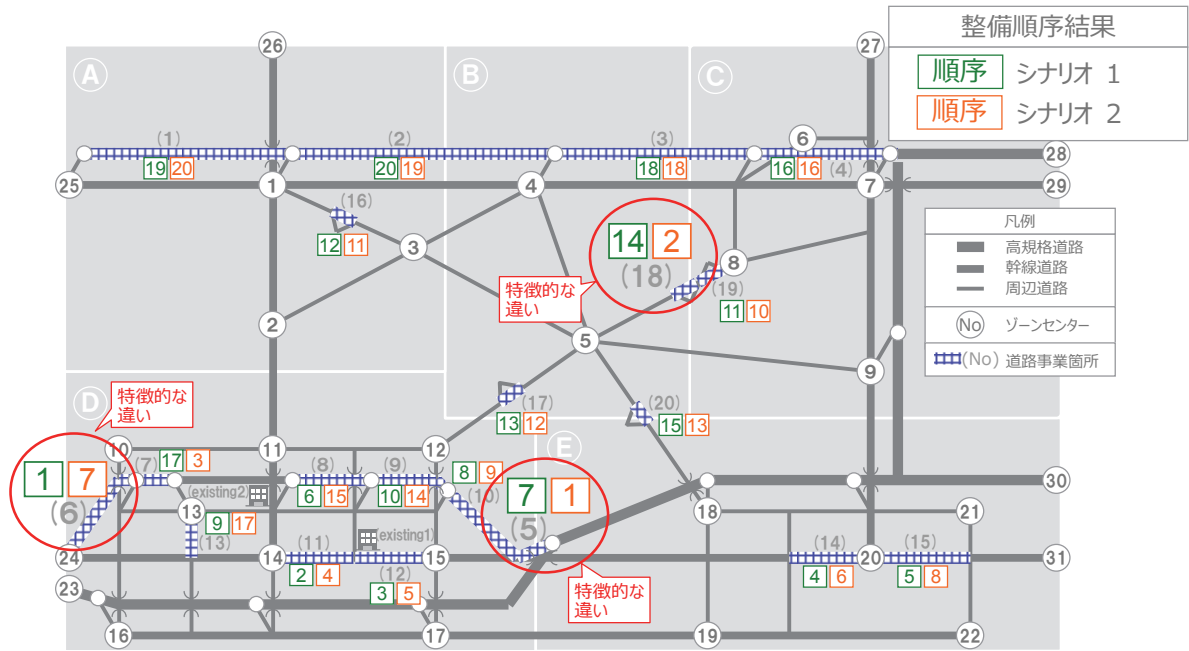


図4.4 シナリオ1と2の整備順序結果

った整備効果（NPV）の大きい事業が続き、最後に線形改良や高規格幹線道路の整備が行われる。ただし、バイパス事業と拡幅事業が並行するNo.8,9とNo.11,12をシナリオ1と比較すると、拡幅事業のNo.11,12は先行するものの、バイパス事業のNo.8,9は、かなり後半の整備順序となっている。

シナリオ2のこれらの整備順序は、明らかに周辺道路整備の状況、すなわちネットワーク外部性を考慮した順序になっている。

（3）累積便益の比較

シナリオ1と2の累積便益を図4.5に示す。ただしこのグラフは、簡単のため、事業整備が進むにつれて、その整備分だけ単年便益が累積される単調増加関数とするため、横軸を期間（t期）、縦軸を単年便益とした。実際には、費用が先払いとなる図3.2のNPVの最大化に従って求解している点に留意する必要がある。

シナリオ1は静的なネットワーク下の評価に基づく整備順序のため、前述のとおり、単年便益が大きい事業、すなわち比較的事業費の大きい事業が初期に整備されている。そのため、最初に着手された事業が完了して便益が計上される時点が事業開始後8年目となって、シナリオ2よりも遅い結果となった。

一方シナリオ2は、比較的小規模だが早期に効果発現する事業を先行して実施するため、最初の便益計上時点が4年目となっている。その後も、シナリオ1に

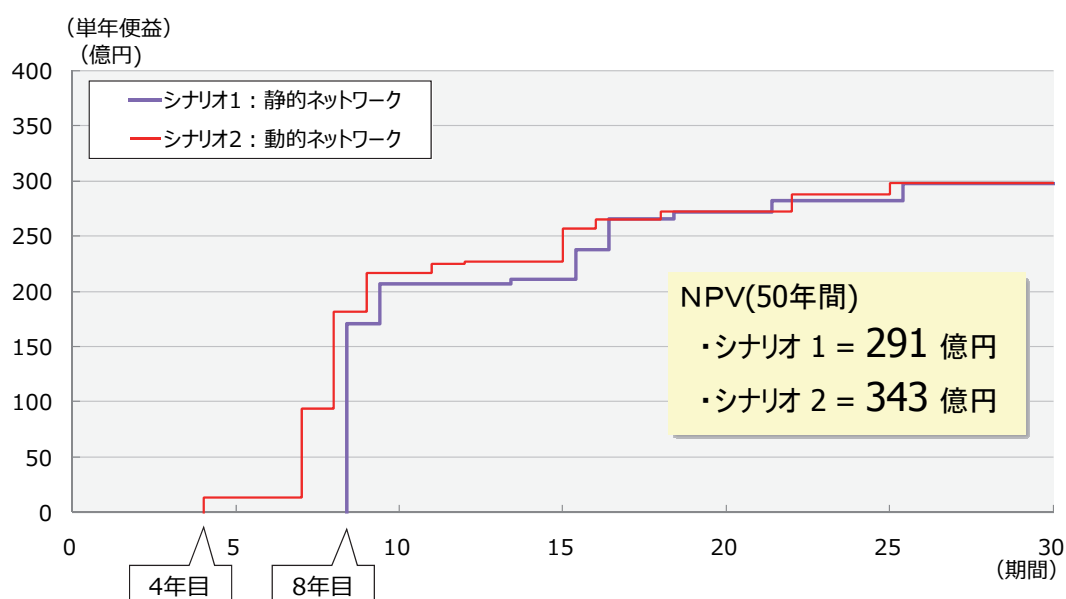


図4.5 シナリオ1と2の累積便益

比べて早い段階で便益が計上されており、評価期間の大半でシナリオ2の方が、単年便益が高くなっている。なお今回のシミュレーションでは、最終的には両シナリオとも20事業が整備されているので、最終年度の単年便益は等しくなる。

この単年便益を用いて計上される、評価期間とした50年間全体の現在価値化された総純便益を比較すると、シナリオ1は291億円、シナリオ2は343億円であり、シナリオ2の方が約18%高くなっている。

以上から、本シミュレーションでは、シナリオ2の方が総純便益が約18%高く、ネットワーク外部性を考慮することによる効果が示された。

4.5 まとめ

地域道路ネットワーク計画においては、道路整備や施設配置によるアクセシビリティの改善や、各々のプロジェクトが段階的に整備されることによるネットワークの形成について考慮しなければならない。本章では、3章で提案した道路事業の段階的な整備によるネットワーク外部性を考慮して、整備順序を同時に決定できる動的な事業評価モデルを示した。提案モデルの有効性を検証するためにケーススタディとしてシナリオ1：静的評価と、シナリオ2：動的評価を設定して両者を比較するシミュレーション分析を行った。その結果、提案モデルによって、有意に大きな便益が得られることが明らかとなった。それは、段階的に各リンクの道路整備事業が進むと、ネットワーク外部性、またはリンク改修における便益への影響が発現するためであり、その際のプロジェクト採択順序そのものも、静的評価とは大きく異なっていることが明らかになった。

実際の地域の道路交通整備事業は長期にわたるため、整備が検討される個別事業が、それぞれ段階的に計画される場合もあると考えられる。このとき、本章のシミュレーションにおける事業実施順序が示すように、単年度便益の大きな事業の先行実施やその事業の遅延は、長期的には動的に最適化された事業実施順序と比較して、無視できない便益損失をもたらす可能性があることが明らかとなった。

今後は、ネットワーク外部性を有する道路事業が段階的に計画される場合は、その起案順序に関する簡約化されたルール（rule of thumb）についても、十分に配慮した計画立案が必要と考えられる。

第4章の参考文献

- 1) 小笹俊成, 塚井誠人, 藤原章正, 張峻屹: 地域別評価指標に基づく道路事業評価システムの研究, 第24回応用地域学会研究発表会発表原稿, 2010.
- 2) Toshinari Kozasa, Makoto Tsukai, Akimasa Fujiwara: A development of dynamic road network planning model considering step-by-step construction of links and facility on nodes, ICTTS, 2012.
- 3) 土木学会: 道路交通需要予測の理論と適用 第II編 利用者均衡配分モデルの展開, 丸善(株), 2006.
- 4) 波床正敏, 中川大: 遺伝的アルゴリズムを用いた幹線鉄道網構築分析に基づく幹線鉄道政策の課題抽出, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, pp.763-774, 2009.
- 5) 青山吉隆, 松中亮治, 野村友哉: 大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用, 運輸政策研究, Vol.5, pp.2-13, 2002.

第5章 道路整備に連動する施設整備事業を考慮した包括的評価

道路は、施設間・地区間などを連絡する重要な機能を有しており、その整備は、通勤、業務、買物、救急など様々な目的の交通に対して影響を及ぼす。一方で、施設整備は、その施設を利用する交通に関してのみ、影響を及ぼす。一般に、前者の方が後者よりも広汎な影響を及ぼすと考えて差し支えないが、政策の狙いが明確な場合、その目標達成の手段としてどちらが優れているかは、注意深く検討する必要がある。例えば、救急医療施設が存在しない地域では、対象地域外に立地している救急医療施設へのアクセスを強化するために道路整備が検討されることがあるが、当該地域に医療施設を整備する方が効果的という指摘も、実務上の検討課題として俎上に載ることがある。

道路整備と施設整備は、行政上はそれぞれの計画や整備を所轄する部門が全く異なるとはいえ、地域にとっていずれがより効果的な事業であるかを総合的に検討すること、つまり多面的な効果を持つ道路事業とある特定の一面で効果が高い施設整備事業を同一の計画スキーム上で比較検討することは、長期的な地域整備において重視すべき具体的な政策の検討や、限られた財源の有効活用面で有益な示唆を与えられと考えられる。既往研究では、救急医療施設の最適配置計画^{1,2)}や、商業施設立地の都市構造への影響分析³⁾、交通施設の商業立地影響分析⁴⁾など、施設立地に関する分析や交通施設の商業施設等への影響分析は見られるが、施設整備と道路事業を計画スキーム上で比較分析した研究は見られない。

本章では、地域の道路ネットワーク計画における事業評価方法として、道路事業だけでなく、施設整備事業を含めた総合的な評価手法の検討を行う。具体的には、本研究が提案する動的な事業評価モデルにおいて、道路事業と施設整備事業を評価対象とした数値シミュレーションを通じて、施設整備を考慮することによる総便益の違いや、採択事業の違いを検証する^{5,6)}。

5.1 ケーススタディの概要

上述の議論に基づいて、ケーススタディを設定する。シナリオの1つは道路事業のみを対象に検討したケース、もう1つは道路事業と施設整備事業の両方を同時に検討するケースとする。

なお、地域道路計画を検討する際には、ある期間を対象とした投資事業費に限界を伴う予算的な制約、あるいは整備目標として、地域が満たすべきサービス水準として、たとえば救急医療施設までは全地区とも30分以内に到着できる

等の，様々な制約条件が課せられることがある．

そこで本ケーススタディは，表5.1に示す条件下での道路事業・施設整備事業の事業評価を比較する．具体的には，道路事業のみのシナリオ3と，道路事業と施設整備事業を対象とするシナリオ4の比較を行う．なお，比較・検証項目は第4章と同様に，シミュレーションによって得られる整備順序とNPVである．

表5.1 ケース概要

シナリオ No.	シナリオ3	シナリオ4
分析内容	道路事業のみの評価	道路事業と施設整備事業の評価
整備順序評価ネットワーク	動的ネットワーク	(同左)
評価対象事業	道路事業（全20事業）	道路事業（全20事業） と施設整備事業（全5事業）
制約条件	あり	(同左)

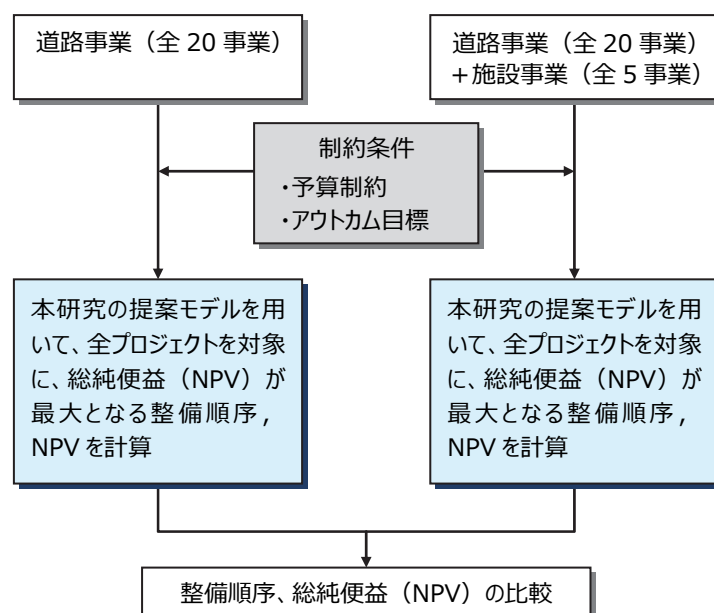


図5.1 シナリオ3,4の分析の流れ

5.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定

本章のシミュレーション用に用意した評価対象エリア・仮想ネットワークを図5.2に示す．なおこの設定は，第4章と同一である．ただし，いくつかのノードでは，施設整備事業を実施する設定とした．リンク数は124，ゾーン数は31（うち24～31は流出入ノード）である．

想定する施設整備プロジェクトを表5.2，道路プロジェクトを表5.3に示す．リンク上に示す道路整備事業は，第4章と同じ，高規格幹線道路，バイパス事業，拡幅事業，線形改良に相当する計20事業である．施設整備候補は総合病院を想定した5ノードを設定した．

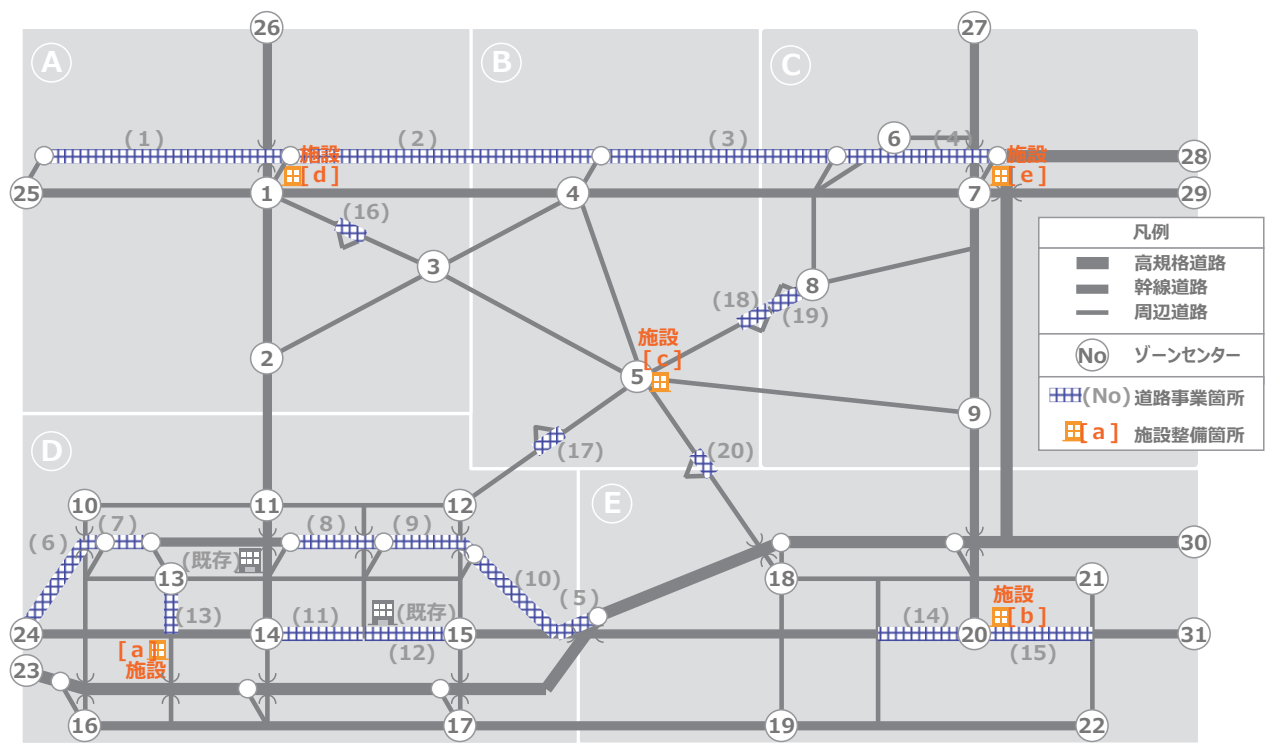


図5.2 評価対象エリア・ネットワーク

表5.2 施設整備事業の設定

区分	プロジェクト (p)	病床数 (床)	事業費 (億円)(Cp)
施設 (総合病院)	既存01	500	-
	既存02	200	-
	a	500	50
	b	500	50
	c	500	50
	d	500	50
	e	500	50

表5.3 道路事業の設定

区分	プロジェクト (p)	延長 (km)	整備概要				事業費 (億円) (Cp)
			整備前		整備後		
			速度	車線数	速度	車線数	
高規格 幹線 道路 (IC線)	01	13.6	未整備	未整備	70	2車	700
	02	17.2	未整備	未整備	70	2車	900
	03	13.4	未整備	未整備	70	2車	650
	04	8.4	未整備	未整備	70	2車	400
	05	1.4	未整備	未整備	50	2車	50
バイ パス	06	6.2	未整備	未整備	50	4車	400
	07	4.5	未整備	未整備	50	4車	250
	08	5.1	未整備	未整備	50	4車	300
	09	5.2	未整備	未整備	50	4車	300
	10	7.7	未整備	未整備	50	4車	450
拡幅 事業	11	5.0	50	2車	50	4車	250
	12	5.0	50	2車	50	4車	250
	13	3.0	40	2車	40	4車	150
	14	5.0	50	2車	50	4車	250
	15	6.1	50	2車	50	4車	300
線形 改良	16	1.7	30	1車	40	2車	50
	17	1.5	30	1車	50	2車	50
	18	1.8	40	2車	50	2車	50
	19	1.9	40	2車	50	2車	50
	20	2.5	30	1車	40	2車	100

5.3 シミュレーションケースの設定

5.3.1 ケース設定

施設整備効果の影響を検証するため、表5.4に示す2つのシナリオを用意する。両シナリオとも動的ネットワークの下で本研究の提案モデルを適用して採択事業と順序を決定するが、両シナリオ間では、評価対象事業のみが異なっている。すなわち、シナリオ3を道路事業のみを評価対象としたケース、シナリオ4を道路事業と施設整備事業を評価対象としたケースとする。また、評価対象事業が異なることにより、ゾーン別の発生集中交通量に違いが生じる。つまり、発生交通量モデル、集中交通量モデルの説明変数に、評価対象である施設整備事業に関連する変数を導入しているため、施設整備に伴って発生交通量、集中交通量に変化する。なお、道路整備に伴うOD交通量の変化、発生交通量の変化等の誘発交通については第7章で分析する。

表5.4 シナリオ設定

シナリオ No.	シナリオ 3	シナリオ 4
評価対象事業	道路事業（全20事業）	（同左） +施設事業（全5事業）
整備順序評価ネットワーク	動的ネットワーク	（同左）
整備順序決定方法 及び段階整備による 総純便益の計算	提案モデルによる 最適化計算	（同左）
各年度の OD交通量 発生集中交通量	ゾーン間所要時間の変化に より, OD交通量が変化. それにより, 発集量も変化	左記に加え, 施設整備に伴って, 発集量が変化
予算制約等の 制約条件	制約あり ・予算制約 ・整備目標制約	（同左）

5.3.2 シミュレーションモデルの設定

第3章で定式化した提案モデルをベースに、本章で適用するシミュレーションモデルを整理する。基本的には第4章で適用したモデル式と同様であり、目的変数と制約条件のみを再掲する。

1) 目的変数と制約条件

$$\max_{\delta} Y \quad (5.1)$$

$$Y = \sum_t \frac{1}{(1+r)^{t-1}} (B(X_t) - C_t(\delta)) \quad (5.2)$$

$$\text{s.t. } \delta \in \{0,1\}, \forall t, \forall p \quad (5.3)$$

$$\sum_p \delta_p C_p \leq C^* \quad (5.4)$$

$$C_t(\delta) = \sum_p \delta_{pt} C_{pt} \leq C_t^*, \forall t \quad (5.5)$$

$$\bar{T}_q^{te} = \frac{1}{N_q} \sum_{i \in M_q} (N_i T_{ih}^{te}) \leq T_h^*, \forall q \quad (5.6)$$

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \forall t \quad (5.7)$$

5.3.3 モデル係数等の設定

シナリオ3と4について、上記モデルのパラメータを、表5.5に示すように設定する。それらは基本的に第4章と同様の設定であるが、施設整備事業を考慮するシナリオ4では、施設整備を有するゾーンの発生集中交通量が増加する。

表5.6に本シミュレーションにおける制約条件を設定する。まず、予算フレームとして総額3,500億円とする。計画期間を20年とすると、年間の投資限度額は約180億円である。設定した候補プロジェクトは道路事業と施設整備事業の整備費用の合計は約6,200億円であるので、投資額による採択事業費の割合は6割弱程度である。

整備目標の制約条件として、アウトカム目標を2種類設定した。目標1は、各市町ゾーンから市町中心地への平均アクセス時間20分以内、目標2は、各市町ゾーンから特定施設への平均アクセス時間60分以内とした。なお、各市町の平均

表5.5 モデル係数等の設定

区分	内容
発生交通量モデル	発生量 $it = 0.16 \times (\text{居住人口})it + 5 \times (\text{病床数})it$ ただし、居住人口、病床数とも t によって変化しないが、病床数は施設整備に伴って変化する。 また、エリア全体の総トリップ数は整備有無に係わらず固定し、ゾーン別発生集中量はモデル値比率で按分する。
集中交通量モデル	集中量 $it = 0.16 \times (\text{居住人口})it + 5 \times (\text{病床数})it$ 便宜的に発生交通量モデルと同じとする。前提条件も同じ。
分布交通量モデル	分布交通量 ijt $= 1.0 \cdot \text{発生量}it \cdot \text{集中量}jt / \text{所要時間}ijt$
事業費モデル	事業期間 $p = 0.1 \times \ln(\text{事業費}p)^{2.4}$
リンクパフォーマンス関数 (BPR関数)	所要時間 $= \text{自由旅行時間} \times (1 + 0.48 \times (\text{交通量}/\text{容量})^{2.82})$ 容量、自由旅行時間(=自由速度)は道路種別別沿道状況別車線数別に設定。

表5.6 設定した制約条件

〔設定した制約条件〕	
【予算フレーム：総額3500億円以下，計画期間20年】	⇒ <u>年間約180億円</u>
【アウトカム目標1：各ゾーンから市町中心地へのアクセス性】	⇒ <u>各市町の平均アクセス時間：20分以内</u>
【アウトカム目標2：各ゾーンから特定施設へのアクセス性】	⇒ <u>各市町の平均アクセス時間：60分以内</u>

アクセス時間は、各ゾーンからのアクセス時間を市町ごとに、ゾーン居住人口比により加重平均して算出する。

5.4 シミュレーション結果

(1) 採択事業の比較

表 5.6 の制約条件のもとで評価したシナリオ 3 と 4 の事業採択結果を図 5.3, 表 5.7 にそれぞれ示す。シナリオ 3 の道路事業のみの場合、12 事業、総額 3,500 億円が採択されたが、シナリオ 4 の道路事業&施設整備事業のケースでは 11 事業、総額 3,400 億円であり、後者は 1 事業、100 億円少ない。

特徴的な違いは、シナリオ 4 の場合、施設 e と隣接の道路事業 No.3,4 が採択され、代わりに周辺の道路事業 No.18,19, および既存施設隣接の道路事業 No.11,12 が非採択となっている点である。この違いには、アウトカム目標 2 で設定した「特定施設へのアクセス目標」を達成するために、道路整備が施設整備によって代替されたことによるものと考えられる。特定施設の配置状況に着目すると、初期設定では、D 市に既存施設が 2 か所のみ存在するため、D 市から最も遠い C 市のアクセス時間制約を満たすには、シナリオ 3 では、D 市への最短ルートである道路事業 No.18,19 を採用せざるを得なくなっていた。一方、シナリオ 4 では、D 市に設定された施設 e の整備が採択され、その結果として No.18,19 は非採択になったと考えられる。

以上のように、シナリオ 4 はシナリオ 3 と比較して、明らかに施設と道路の位置関係を考慮して、事業採択がなされていると言える。

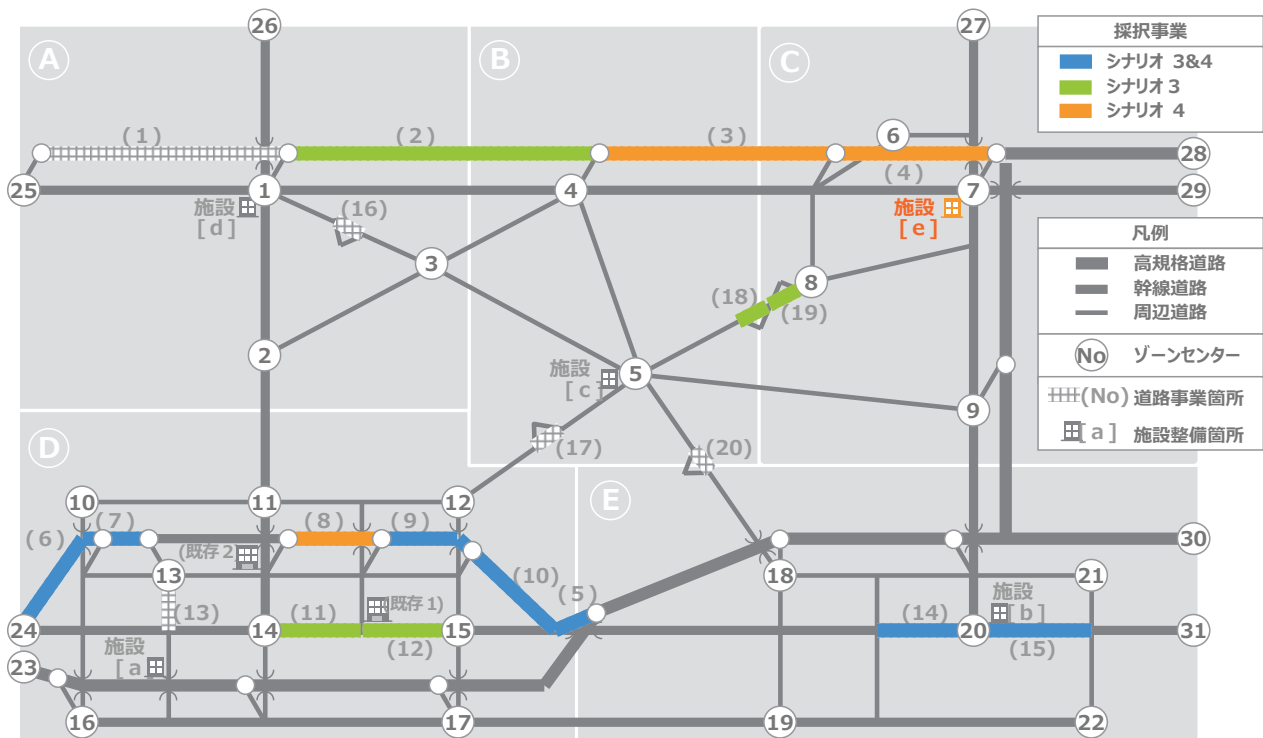


図5.3 シナリオ3と4の採択事業の比較

表5.7 シナリオ3と4の採択事業（非採択事業を含む）

プロジェクト	プロジェクト NO	シナリオ3	シナリオ4
		道路事業のみ	道路事業 +施設整備事業
施設事業 (総合病院)	a	×	×
	b	×	×
	c	×	×
	d	×	×
	e	×	●
道路 事業	01	×	×
	02	●	×
	03	×	●
	04	×	●
	05	●	●
	06	●	●
	07	●	●
	08	×	●
	09	●	●
	10	●	●
拡幅事業	11	●	×
	12	●	×
	13	×	×
	14	●	●
	15	●	●
線形改良	16	×	×
	17	×	×
	18	●	×
	19	●	×
	20	×	×
採択事業数		12事業	11事業
採択総事業費（億円）		3,500	3,400

注）●：採択，×：非採択

(2) 累積便益の比較

シナリオ3と4の整備順序と年便益，及びNPVを表5.8に，年便益の推移を図5.4にそれぞれ示す．整備順序を比較すると，一部で採択事業の違いはあるも

表5.8 シナリオ3と4の単年便益

整備 順序	シナリオ3 道路事業のみ			シナリオ4 道路事業+施設整備事業		
	供用 年 (t期)	採択 事業	単年 便益 (億円)	供用 年 (t期)	採択 事業	単年 便益 (億円)
1	4	5	12	4	5	9
2	7	14	35	4	e	21
3	7	11	63	7	14	44
4	8	15	97	8	15	78
5	8	6	137	8	6	119
6	13	12	162	10	10	157
7	14	7	179	15	7	175
8	14	18	182	16	8	191
9	15	9	187	16	9	226
10	16	10	231	17	4	232
11	17	19	235	24	3	244
12	24	2	242			
総純便益 (NPV)						
(50年間)			1,039			1,083
(現在価値)			(参考: B/C=1.44)			(参考: B/C=1.46)

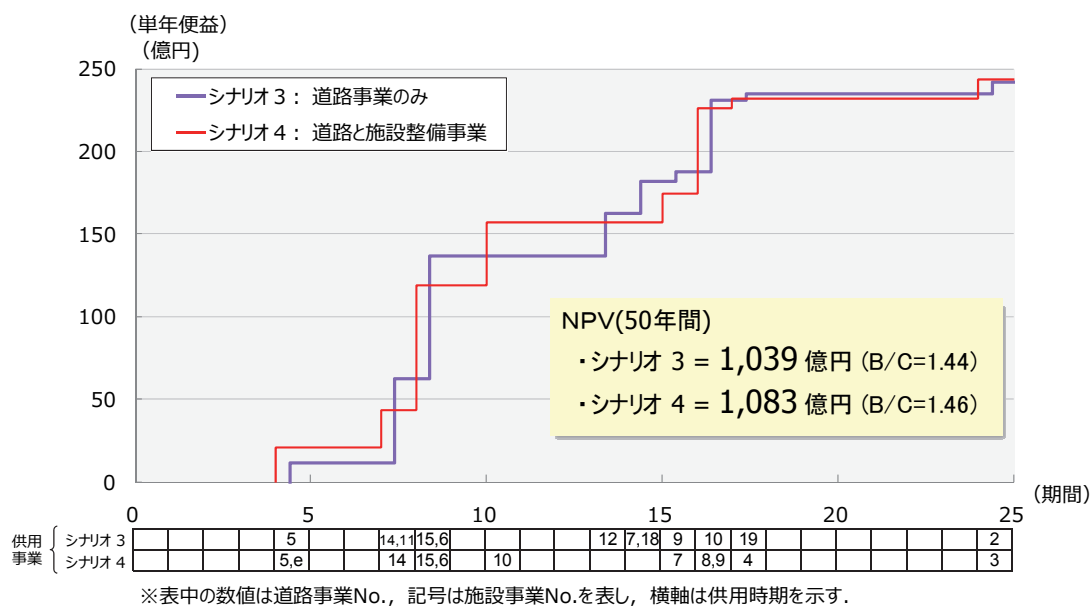


図5.4 シナリオ3と4の累積便益の推移

の、共通して採択された事業の順序は、概ね同様となっている。年便益の推移についても、両者に大きな違いはない。しかし、NPVに着目すると、施設整備事業を考慮したシナリオ4の方が高い。これは、シナリオ4は、便益を産む上で効果的な施設eを先行して整備して早期効果（便益）を得るとともに、同施設の整備によって予算上で実現不可能となった道路事業を取捨して、施設eの次に効果的な道路事業No.10をシナリオ3よりも早期に整備したためと考えられる。

以上から、道路事業と共に施設整備事業を考慮することで、エリア全体の施設配置を含めた効果的・効率的な整備計画が可能となり、NPVが高まることが確認できた。

5.5 まとめ

地域道路ネットワーク計画においては、政策的なアウトカム目標を設定して、それを実現するための道路網計画を立案することが多い。本章では、3章で設定した提案モデルを適用して、年次別予算制約に加えて、施設までの最大アクセス時間などに関する政策的なアウトカム目標を制約条件としたケーススタディ（シナリオ3=道路事業のみを対象とした事業評価、シナリオ4=道路事業と施設整備事業を対象とした事業評価）を実施した。シミュレーション分析を行ったところ、予算フレームに関する制約条件を満たしつつ総便益を最大化する効率的な整備順序を導出していることが確認された。すなわち、追加的に設定した制約条件下においても、本モデルの有効性が示された。

施設整備事業を含む個別プロジェクト採択・整備順序に関するシミュレーション分析では、施設配置と道路ネットワークにおける道路事業の配置を反映した効率的な事業採択、ならびに整備順序が確認できた。特に施設整備を考慮することによって、道路事業のみの場合と比較して採択事業が1事業少ないにもかかわらず、得られる便益が大きい結果が得られた。この結果は、施設整備と道路事業を一体的に考慮する意義を示しており、実務上は両者を同一の計画フレームで議論することが少ないことや、道路または施設のうち先行整備された事業に追随する別事業が企画されることが多い実務においても、参照すべき知見と考えられる。ただし上述の結果は、設定条件に強く依存する点に留意する必要がある。今後は、個別事例に即した検証が必要である。

第5章の参考文献

- 1) 厚生労働省東北厚生局，国土交通省東北地方整備局：「東北圏における救急医療体制の課題分析等」に関する調査報告書，平成 21 年度広域ブロック自立施策等推進調査，2010.
- 2) 谷川琢海，小笠原克彦，大場久照，櫻井恒太郎：ミニ・サム型施設配置モデルを用いた救急医療機関の最適配置の分析，病院管理，Vol.43, No.3, pp.249-260, 2006.
- 3) 国土交通省国土交通政策研究所：商業施設の立地が都市構造に及ぼす影響に関する研究，国土交通政策研究 第 76 号，2007.
- 4) 河野達仁，野添孝敬，岸昭雄：交通施設整備が都心商業の空洞化と再生に与える影響：商業立地密度変化に着目して，土木計画研究・論文集，Vol.25, No.1, pp.201-212, 2008.
- 5) 小笹俊成，塚井誠人，藤原章正，張峻屹：地域別評価指標に基づく道路事業評価システムの研究，第 24 回応用地域学会，2010.
- 6) Toshinari Kozasa , Makoto Tsukai, Akimasa Fujiwara : A development of dynamic road network planning model considering step-by-step construction of links and facility on nodes, ICTTS, 2012.

第6章 事業区間を内生化した動的評価

現在、実務で分析されている事業評価は、対象ネットワーク上の各リンクにおいて実施される個別事業を対象としており、それぞれの事業単位は所与とされる。しかしたとえば高規格幹線道路の場合、ひとつのインターチェンジ(IC)間を事業区間とするか、あるいは二つのIC間を統合して事業区間とするかによって、費用便益に影響が及ぶ可能性がある。たとえば、1)ネットワーク外部性によって事業効果が通増し、2)規模の経済性が働いて1事業あたりの事業コストは低下する一方で、3)事業期間が長くなるため便益発現が遅くなるなどの影響が現れると予想される。また、バイパス事業の場合、2車線(暫定)整備を先行し、その後4車線整備とするか、あるいは4車線整備を最初から進めるかによって、各事業の供用時点や費用に違いが生じるため、費用対効果は大きく異なると考えられる。事業区間の取扱いについては、投資効果を見据えた効率的・効果的な設定が求められる¹⁾。しかしながら、既往研究では、複数の道路事業の整備順序に関する研究は複数見られる^{2,3,4)}が、いずれも事業区間は所与とされており、区間そのものの設定については、分析されていない。

そこで本章では、事業区間の設定方法について、シミュレーション分析を通じて検証する。具体的には、事業区間を外生的に設定した場合と、本研究での提案モデルを適用して事業区間設定を内生化した場合を比較検証する^{5,6)}。

6.1 ケーススタディの概要

本章では、事業区間を内生化した動的な道路事業評価方法の有効性を検証するため、表6.1に示す2ケースと、4つの分析シナリオを設定する。これまでと同様にモデルの有効性は、各シナリオで出力される採択事業・整備順序、および

表6.1 ケース概要

ケース	分析シナリオ			
		評価方法	事業区間	制約条件
ケース1： 動的評価の 有効性検証	シナリオ5	静的評価	固定	予算制約
	シナリオ6	動的評価	〃	〃
ケース2： 事業区間 内生化の 有効性検証	シナリオ7	〃	〃	予算制約と アクセシビリティ目標
	シナリオ8	〃	内生化	〃

NPVの違いによって検証する。特に本モデルはNPVが最大となる事業採択・整備順序を求めることがモデルの評価基準のため、NPVの大小をもって、モデルの有効性を判断する。

なお、ケース1の動的評価の有効性検証は、第4章と近い内容となっている。しかし本章では、ケース2の事業区間内生化の有効性検証を行うにあたり、モデルパラメータ等を若干変更しており、第4章と同様の結果が得られるかを確認するために、改めて検証ケースとして設定した。

6.2 仮想ネットワーク・プロジェクトの設定

評価対象エリア・仮想ネットワークを図6.1に示す。同図は第4章と同一であるが、上述のとおりバイパス事業について、暫定2車線整備の事業を追加設定した（表6.2参照）。一方、それらを外生的に設定すると想定したシナリオにおいては、20事業をそれぞれ事業評価単位とし、バイパス事業については完成4車線整備を最小単位として、暫定2車線整備は取り扱わないこととする。これは、暫定2車線整備を選択できることが内生化手法の1つに当たると考えられるためであり、全体の整合性を考慮して、同事業は候補から除いた。

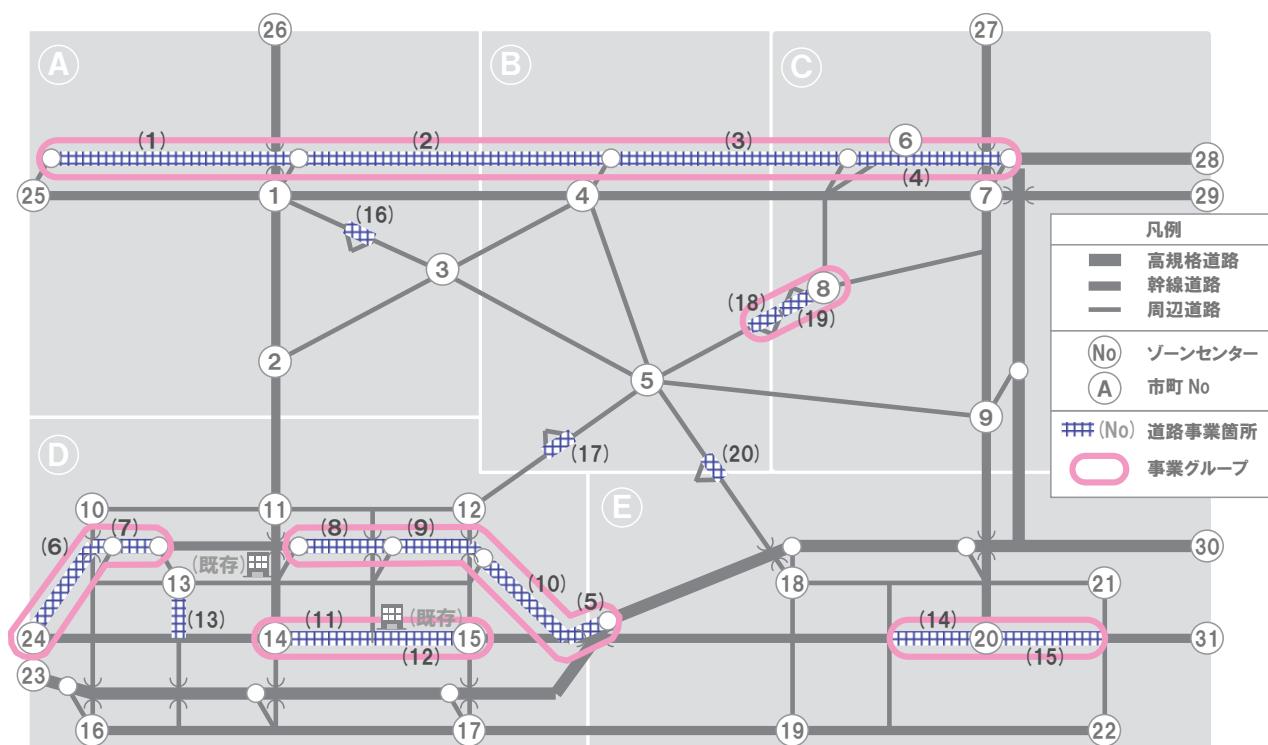


図6.1 評価対象エリア・ネットワーク

表6.2 道路事業の設定

区分	プロジェクト (p)	延長 (km)	整備概要				事業費(億円)	
			整備前		整備後		(Cp)	
			速度	車線数	速度	車線数	暫定	完成
高規格 幹線 道路 (IC線)	01	13.6	未整備	未整備	70	2車	-	700
	02	17.2	未整備	未整備	70	2車	-	900
	03	13.4	未整備	未整備	70	2車	-	650
	04	8.4	未整備	未整備	70	2車	-	400
	05	1.4	未整備	未整備	50	2車	-	50
バイ パス	06	6.2	未整備	未整備	50	4車	250	400
	07	4.5	未整備	未整備	50	4車	150	250
	08	5.1	未整備	未整備	50	4車	200	300
	09	5.2	未整備	未整備	50	4車	200	300
	10	7.7	未整備	未整備	50	4車	300	450
拡幅 事業	11	5.0	50	2車	50	4車	-	250
	12	5.0	50	2車	50	4車	-	250
	13	3.0	40	2車	40	4車	-	150
	14	5.0	50	2車	50	4車	-	250
	15	6.1	50	2車	50	4車	-	300
線形 改良	16	1.7	30	1車	40	2車	-	50
	17	1.5	30	1車	50	2車	-	50
	18	1.8	40	2車	50	2車	-	50
	19	1.9	40	2車	50	2車	-	50
	20	2.5	30	1車	40	2車	-	100

また、本章の検証事項である「事業区間」に関しては、以下の工夫を行った。事業区間内生化ケースは、事業の最小単位を、暫定2車線整備を含む25単位（計20事業(単位)+バイパス暫定2車線整備の5単位）として、複数事業を一括した事業単位を設定する。複数事業の設定では、同じ道路種別で隣接する区間についてのみ複合化を認める一方で、ノードを介して相隣配置とならない事業の組み合わせや、または同一リンク上に配置されていない事業の組み合わせは、複合化できないと設定した。以上の条件を満たすような、複合化可能な事業グループを図6.1に示す。

6.3 シミュレーションケースの設定

6.3.1 ケース設定

事業区間内生化の効果を検証するためのシナリオとして、表6.3に示す2つの

ケーススタディ，4つのシナリオを用意する．各ケースとシナリオの設定内容を以下に示す．

○動的評価の有効性検証

動的評価の有効性を，従来の費用便益分析マニュアルに従った静的評価結果との比較によって検証する．シナリオ5は現況ネットワーク+1の比較を行った静的評価である．具体的には，想定したネットワークに対して，候補となる事業を単独実施したときに得られる純便益の大きい順を整備順序とする．このときの全体のNPVは，得られた整備順序をもとに再計算する．

シナリオ6は動的評価である．静的評価と同様の区間評価とするため，事業区間は固定的に扱い，予算制約のもとでNPVが最大となる事業採択・整備順序を算出した．

なお，個別事業の純便益をもとに整備順序を決定するシナリオ5では，最終年次においてアウトカム目標（整備目標）が必ずしも達成できないため，比較のためシナリオ6においても，同条件は設定しないこととした．また事業区間は，両シナリオとも表6.2に示す20事業をそれぞれ事業評価単位とする．

表6.3 シミュレーションケースの設定

項目	動的評価の有効性検証		事業区間内生化の有効性検証	
	シナリオ 5	シナリオ 6	シナリオ 7	シナリオ 8
評価対象事業	道路事業 (全20事業)	(同左)	(同左)	(同左)
整備順序評価ネットワーク	静的ネットワーク	動的ネットワーク	(同左)	(同左)
事業区間設定方法	外生的に固定	(同左)	(同左)	内生化
整備順序決定方法	各単独事業ごとに 計算した総純便 益の大きさ順	提案モデルによる 最適化計算	(同左)	(同左)
全評価対象事業の 段階整備による総純便益 の計算	上記整備順序に 従った段階整備に よる再計算			
各年度の 発生交通量	発生交通量 固定	(同左)	(同左)	(同左)
予算制約等の 制約条件	・予算制約	(同左)	・予算制約 ・整備目標制約	(同左)

○事業区間内生化の有効性検証

事業区間の内生化による効果を検証するため、それを考慮しないケースとの間で整備順序を比較して、NPV指標に着目した検証を行う。シナリオ7が事業区間固定、シナリオ8が事業区間内生化の動的評価であり、予算制約とアクセシビリティ目標の制約条件のもと、最適な事業区間、事業採択、整備順序を算出し、両シナリオを比較検証する。

6.3.2 シミュレーションモデルの設定

(1) 本章での適用モデル式

第3章で定式化した提案モデルをベースに、本章で適用するシミュレーションモデルを整理する。基本的には第4章で適用したモデル式と同様のため、目的変数と制約条件のみを再掲する。

1) 目的変数と制約条件

$$\max_{\delta} Y \quad (6.1)$$

$$Y = \sum_t \frac{1}{(1+r)^{t-1}} (B(X_t) - C_t(\delta)) \quad (6.2)$$

$$\text{s.t. } \delta \in \{0,1\}, \forall t, \forall p \quad (6.3)$$

$$\sum_p \delta_p C_p \leq C^* \quad (6.4)$$

$$C_t(\delta) = \sum_p \delta_{pt} C_{pt} \leq C_t^*, \forall t \quad (6.5)$$

$$\bar{T}_q^{te} = \frac{1}{N_q} \sum_{i \in M_q} (N_i T_{ih}^{te}) \leq T_h^*, \forall q \quad (6.6)$$

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \forall t \quad (6.7)$$

(2) 事業区間の内生化方法

事業区間の内生化方法は、第3章で整理したように、1)それ以上の事業単位の分割ができない最小単位の個別事業選択肢、および、2)ネットワーク外部性が発揮される可能性のある個別事業の部分集合に対して設定した一括選択肢、の2種類を設定して、両者を含む選択肢集合からの事業採択によって総純便益を最大化し、採択事業と整備順序を求める。

6.3.3 モデル係数等の設定

両ケース共通のモデル係数設定を、表6.4に示す。なお、多様な状況を検証する意味で、第4章とはモデルパラメータ（発生・集中交通量モデル）を若干変更した。

さらに、表6.5に制約条件を示す。なお、アウトカム目標の制約はケース2のシナリオ7と8のみ適用する。

表6.4 モデル係数等の設定

区分		内容
交通 量 モ デ ル	分布 交通 量 モ デ ル	分布交通量（台/日） $_{ij}^t$ $= 1.0 \cdot \text{発生量（台TE/日）}_{i}^t \cdot \text{集中量（台TE/日）}_{j}^t$ $/ \text{所要時間（分）}_{ij}^t$
	発生 交通 量 モ デ ル	発生量（台TE/日） $_{i}^t$ $= 0.18 \text{居住人口（人）}_{i}^t + 5 \text{病床数（床）}_{i}^t$ ただし、居住人口、病床数ともtによって変化しない（固定）とする。
	集中 交通 量 モ デ ル	集中量（台TE/日） $_{i}^t$ $= 0.18 \text{居住人口（人）}_{i}^t + 5 \text{病床数（床）}_{i}^t$ 便宜的に発生交通量モデルと同じとする。
事業費モデル		事業期間（年） $p = 0.1 \times \ln（\text{事業費（億円）}_{p}）^2.4$
リンクパフォーマンス関数 （BPR関数）		所要時間（分） $= \text{自由旅行時間（分）}$ $\times (1 + 0.48 \times (\text{交通量/容量})^{2.82})$ 容量、自由旅行時間（=自由速度）は道路種別別沿道状況別車線数別に設定。

表6.5 設定した制約条件

項目		制約条件	制約対象	対象 ケース
予算フレーム の投資事業費		総額3,500億円以下、 計画期間20年 ⇒年間約180億円以下	各t期に 対して	ケース1 ケース2
アウトカム 目標の アクセ シビリティ	目標1	各ゾーンから市町中心地へのアクセス性 ⇒各市町の平均アクセス時間 ：20分以内	採択された 最終 ネットワーク に対して	ケース2 のみ
	目標2	各ゾーンから特定施設へのアクセス性 ⇒各市町の平均アクセス時間 ：60分以内		

6.4 シミュレーション結果

本シミュレーションでは、解析の基礎となるGAの収束確認のため、各シナリオについて5回の試行計算によって、計算結果の妥当性を確認した。その結果、5回でも同様の最適解が得られた。以下にシミュレーション結果を示す。

6.4.1 動的評価の有効性検証

(1) 事業採択の比較

シナリオ5とシナリオ6の事業採択結果を、まとめて表6.6に示す。シナリオ5の静的評価の場合、15事業、総額3,500億円が採択された。一方、シナリオ6の動的評価では16事業、総額3,500億円が採択され、シナリオ5よりも、1事業多い。両者の採択事業の違いに着目すると、シナリオ5の場合、プロジェクトNo.13が非採択となり、代わりにNo.17, 20が採択されている。No. 13は都市部の拡幅事業であり、No.17, 20は中山間地の線形改良である。シナリオ6の動的評価の場合、評価期間全体でNPVの最大化を図るため、整備事業が単体で便益の高い都市部の事業に偏ることなく、中山間地域の事業も採択されたと考えられる。

表6.6 シナリオ5と6の事業採択結果

区分	事業 NO	シナリオ5 静的評価	シナリオ6 動的評価
高規格 幹線道路 (IC線)	01	×	×
	02	×	×
	03	×	×
	04	●	●
	05	●	●
バイパス	06	●	●
	07	●	●
	08	●	●
	09	●	●
	10	●	●
拡幅 事業	11	●	●
	12	●	●
	13	●	×
	14	●	●
	15	●	●
線形 改良	16	●	●
	17	×	●
	18	●	●
	19	●	●
	20	×	●
事業数		15事業	16事業
総事業費(億円)		3,500億円	3,500億円

注)●：採択、×：非採択

(2) 整備順序と年便益結果

シナリオ5と6の整備順序と年便益結果を表6.7に、年便益の推移を図6.2に、それぞれ示す。シナリオ5, 6の整備順序の共通点を比較すると、都市部をイメージして設定した拡幅事業とバイパス事業が先行し、計画期間の後半に中山間地を意識した線形改良事業、高規格幹線道路事業が続く傾向となっている。一方、両シナリオの特徴的な違いは、高速ICアクセス道路を想定したNo.5の整備順序である。この事業は、シナリオ6では整備順序が1番である。すなわち、便益はそれほど大きくないが、短期間で供用可能な事業を先行整備し、便益を早期に発現させることによって、評価期間全体の総便益を最大化する傾向が見られる。

最終ネットワークにおけるNPVは、シナリオ6（279億円）の方がシナリオ5（275億円）よりも僅かながら高くなっており、動的評価によって評価エリア全ての単年便益が高まっている。

図6.2に示す中間年の単年便益の推移傾向に着目すると、シナリオ6の方が概ね高い位置をキープして推移している。すなわち、動的評価の方が、事業採択と整備順序の両面において効率的な事業が進められていることが分かる。

表6.7 シナリオ5と6の整備順序及び年便益結果

整備 順序	シナリオ5：静的評価					シナリオ6：動的評価				
	供用 年 (t期)	供用 プロジェクト (NO) (内容)		年便益(億円) (単純価値)		供用 年 (t期)	供用 プロジェクト (NO) (内容)		年便益(億円) (単純価値)	
					累積					累積
1	7	14	拡幅	34	34	4	05	高速IC	11	11
2	7	11	拡幅	22	56	7	14	拡幅	30	42
3	8	06	B P	43	99	8	06	B P	42	84
4	8	12	拡幅	25	123	8	15	拡幅	38	122
5	12	13	拡幅	14	137	10	10	B P	45	167
6	13	07	B P	14	151	15	12	拡幅	13	179
7	14	15	拡幅	38	189	15	07	B P	18	197
8	16	10	B P	14	202	16	09	B P	12	209
9	16	09	B P	10	212	16	08	B P	40	249
10	18	05	高速IC	31	243	17	11	拡幅	9	258
11	18	19	線形改良	0	243	19	16	線形改良	2	260
12	19	18	線形改良	2	245	19	19	線形改良	2	262
13	20	16	線形改良	4	249	20	18	線形改良	5	267
14	22	08	B P	18	267	20	17	線形改良	1	267
15	22	04	高規格	8	275	21	20	線形改良	1	269
16						23	04	高規格	10	279

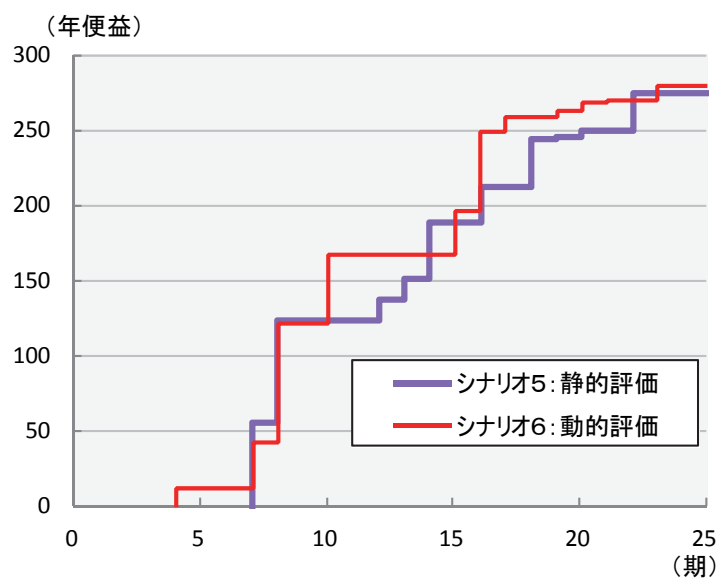


図6.2 シナリオ5と6の年便益の推移

(3) NPVの推移

シナリオ5と6のNPVを表6.8に示す。シナリオ5は、第7期から初期に開始されたプロジェクトの供用に伴い便益が発現し、以降50年間の第56期までが評価期間となっている。シナリオ6は第4期から初期プロジェクトが供用され、50年後の第53期までが評価期間である。事業費はシナリオ5が第21期まで、シナリオ6が第22期まで投入されている。NPVが単年度でプラスに転じるのは、シナリオ5が第14期から、シナリオ6が第15期からであり、シナリオ6の方が遅い。一方、累積でプラスに転じるのは、シナリオ5が第31期から、シナリオ6が第29期からであり、シナリオ6の方が早い。NPVを比較すると、シナリオ5が1,310億円、シナリオ6が1,408億円であり、後者が約100億円程度高い。図6.3に、NPVの累積推移を示す。事業費が順次投入されて単年度負債が増加する間はほぼ同じであるが、便益が増加傾向に転じて以降は、シナリオ6が上方を推移している。

以上のように、NPVから見ると、動的評価を行ったシナリオ6の方が、事業採択や整備順序において、より効率的な決定となっている。

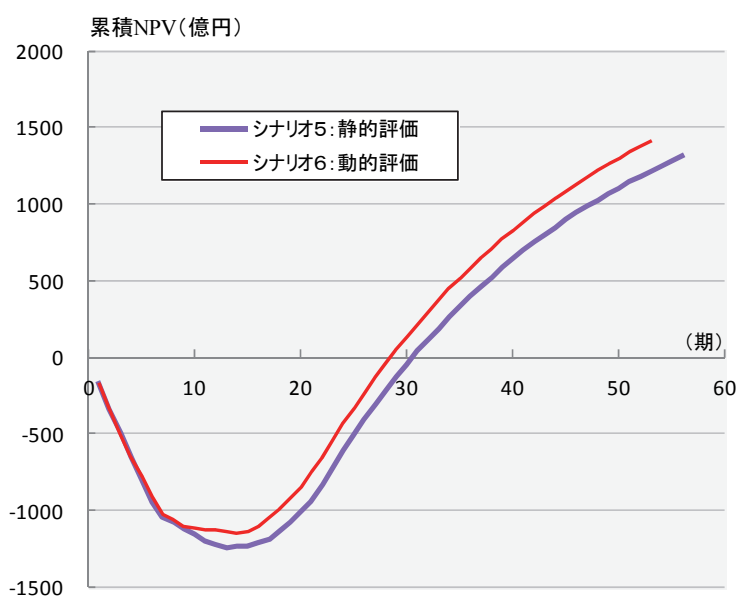


図6.3 シナリオ5と6のNPVの累積推移

表6.8 シナリオ5と6の総純便益(NPV)結果

(億円)

t期	シナリオ5：静的評価				シナリオ6：動的評価			
	便益(B)	コスト(C)	B-C (NPV)	(B-C)累積 (NPV)	便益(B)	コスト(C)	B-C (NPV)	(B-C)累積 (NPV)
	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)	(現在価値)
1		173.1	-173.1	-173		173.1	-173.1	-173
2		166.4	-166.4	-339		166.4	-166.4	-339
3		160.0	-160.0	-500		160.0	-160.0	-500
4		153.9	-153.9	-653	9.7	153.9	-144.1	-644
5		147.9	-147.9	-801	9.3	147.9	-138.6	-782
6		142.3	-142.3	-944	9.0	142.3	-133.3	-916
7	42.2	136.8	-94.5	-1,038	31.7	136.8	-105.1	-1,021
8	90.1	131.5	-41.4	-1,080	88.8	131.5	-42.7	-1,063
9	86.6	126.5	-39.8	-1,119	85.4	126.5	-41.1	-1,104
10	83.3	121.6	-38.3	-1,158	112.5	121.6	-9.1	-1,114
11	80.1	116.9	-36.8	-1,195	108.2	116.9	-8.8	-1,122
12	85.5	112.4	-26.9	-1,221	104.0	112.4	-8.4	-1,131
13	90.9	108.1	-17.2	-1,239	100.0	108.1	-8.1	-1,139
14	109.1	103.9	5.1	-1,234	96.2	103.9	-7.8	-1,147
15	104.9	99.9	4.9	-1,229	109.2	99.9	9.2	-1,137
16	113.3	96.1	17.2	-1,211	132.9	96.1	36.8	-1,101
17	109.0	87.3	21.7	-1,190	132.4	81.8	50.6	-1,050
18	120.1	65.8	54.3	-1,135	127.3	73.5	53.8	-996
19	116.5	55.4	61.1	-1,074	124.4	54.8	69.6	-927
20	113.6	45.6	68.0	-1,006	122.1	37.5	84.6	-842
21	109.3	43.9	65.4	-941	118.0	25.1	92.9	-749
22	115.9		115.9	-825	113.5	24.1	89.3	-660
23	111.5		111.5	-713	113.0		113.0	-547
24	107.2		107.2	-606	108.7		108.7	-438
25	103.1		103.1	-503	104.5		104.5	-333
26	99.1		99.1	-404	100.5		100.5	-233
27	95.3		95.3	-309	96.6		96.6	-136
28	91.6		91.6	-217	92.9		92.9	-43
29	88.1		88.1	-129	89.3		89.3	46
30	84.7		84.7	-44	85.9		85.9	132
31	81.5		81.5	37	82.6		82.6	214
32	78.3		78.3	115	79.4		79.4	294
33	75.3		75.3	191	76.4		76.4	370
34	72.4		72.4	263	73.4		73.4	444
35	69.6		69.6	333	70.6		70.6	514
36	66.9		66.9	400	67.9		67.9	582
37	64.4		64.4	464	65.3		65.3	647
38	61.9		61.9	526	62.8		62.8	710
39	59.5		59.5	585	60.4		60.4	771
40	57.2		57.2	643	58.0		58.0	829
41	55.0		55.0	698	55.8		55.8	884
42	52.9		52.9	751	53.7		53.7	938
43	50.9		50.9	802	51.6		51.6	990
44	48.9		48.9	850	49.6		49.6	1,039
45	47.0		47.0	897	47.7		47.7	1,087
46	45.2		45.2	943	45.9		45.9	1,133
47	43.5		43.5	986	44.1		44.1	1,177
48	41.8		41.8	1,028	42.4		42.4	1,219
49	40.2		40.2	1,068	40.8		40.8	1,260
50	38.7		38.7	1,107	39.2		39.2	1,299
51	37.2		37.2	1,144	37.7		37.7	1,337
52	35.7		35.7	1,180	36.2		36.2	1,373
53	34.4		34.4	1,214	34.9		34.9	1,408
54	33.0		33.0	1,247				
55	31.8		31.8	1,279				
56	30.6		30.6	1,310				
合計	3705	2395.4	1,310	-	3802	2394.1	1,408	-
	B/C=		1.55		B/C=		1.59	

6.4.2 事業区間内生化の有効性検証

(1) 事業採択結果の比較

シナリオ7とシナリオ8の事業採択結果をまとめて、表6.9に示す。シナリオ7の事業区間固定の場合、13事業、総額3,500億円が採択されたが、シナリオ8の事業区間内生化では11事業、総額3,500億円であり、2事業少なくなっている。シナリオ8の場合、バイパス事業のNo.7は2車線暫定形、No.6, 10は段階整備を経て4車線完成形とする等、事業区間内生化の特徴が反映された結果となっている。

表6.9 シナリオ7と8の事業採択結果

区分	事業 NO	シナリオ3 区間固定	シナリオ4 区間内生化
高規格 幹線道路 (IC線)	01	×	×
	02	×	×
	03	●	●
	04	●	●
	05	●	●
バイパス	06	●	◎
	07	●	○
	08	●	●
	09	●	●
	10	●	◎
拡幅 事業	11	×	×
	12	×	●
	13	×	×
	14	●	●
	15	●	●
線形 改良	16	●	×
	17	●	×
	18	×	×
	19	●	×
	20	×	×
事業数		13事業	11事業
総事業費(億円)		3,500億円	3,500億円

注) ●：完成形(一括整備), ◎：完成形(段階整備),

○：暫定形, ×：非採択

(2) 制約条件の達成状況

本シミュレーションでは、実務上で制約条件となることが多い、1)プロジェクト総事業費(年度別総事業費)の予算制約、2)最終的に採択されたプロジェクト

整備ネットワークに対するアクセシビリティ目標の制約，を設定した．1)の予算制約に対しては，表6.9に示すように，シナリオ7,8とも採択総事業費は3,500億円となっていて，予算制約を満足している．

2)のアクセシビリティ目標については，表6.5のように，目標1：各市町から市町中心地への平均アクセス時間20分以内，目標2：各市町から特定施設への平均アクセス時間60分以内，の2つの制約条件を設定した．なお，各市町の平均アクセス時間は，各ゾーンからのアクセス時間を市町ごとに，ゾーン居住人口比により加重平均して算出した．アクセシビリティ目標（制約）に対する達成状況は，図6.4，図6.5に示すように，両シナリオとも制約条件（目標）を満足している．なお，平均アクセス時間の地域間分布の傾向は，目標1と目標2とも，ほぼ同様となっている．

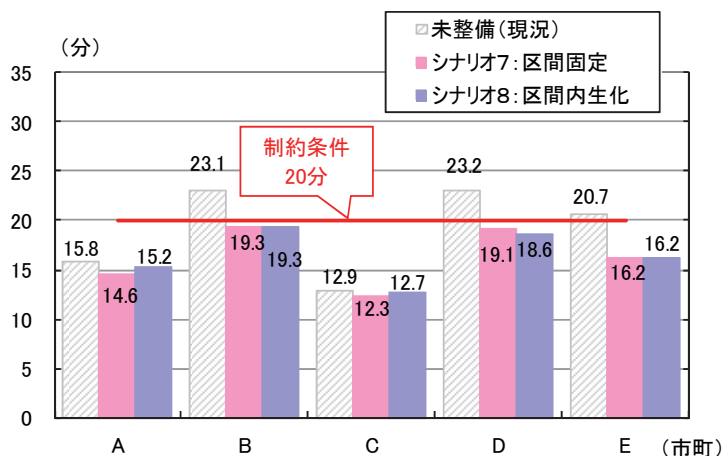


図6.4 アクセシビリティ目標1の達成状況

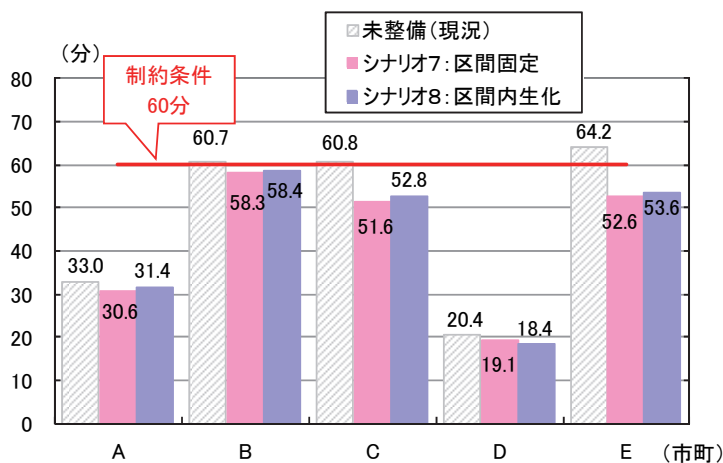


図6.5 グラアクセシビリティ目標2の達成状況

本モデルは、GAによって求解しているため、評価事業整備に関わるアウトカム指標などの複雑な条件を、制約条件として考慮できる。他方でNPVのように、制約条件ではなく最大化や最小化を図るべき目的変数として、複数の要件が課せられる場合がある。純便益に代えて、これらの制約条件を目的変数とする問題は、多目的最適化と呼ばれる問題である。その解法としては、要件別の重みを設定することによってそれらを合成した目的変数に変換する方法や、外生的に重みを与えることなく、最適解フロンティアを求める方法などが提案されている。

(3) 整備順序と年便益結果

シナリオ7とシナリオ8の整備順序と年便益結果を表6.10に、年便益の推移を図6.6にそれぞれ示す。整備順序の傾向としては、前述のケース1と同様、都市部をイメージして設定したバイパス事業、拡幅事業が先行し、後半に中山間地を意識した線形改良事業、高規格幹線道路事業が続いている。シナリオ7では、まずNo.5といった、便益はそれほど大きくないが短期に供用可能な事業が整備され、その後便益の大きい拡幅やバイパス事業や、整備目標達成等のために必要な高規格幹線道路事業が採択される。特にバイパス事業の順序は、No.6, 10, 7, 9, 8と両サイドからネットワーク化を進める形となっている。

表6.10 シナリオ7と8の整備順序及び年便益結果

整備 順序	シナリオ7：区間固定					シナリオ8：区間内生				
	供用 年 (t期)	供用 プロジェクト (NO) (内容)	年便益(億円) (単純価値)		累積	供用 年 (t期)	供用 プロジェクト (NO) (内容)	年便益(億円) (単純価値)		累積
1	4	05 高速IC	11	11		2	05 高速IC	11	11	
2	7	14 拡幅	30	42		5	14 拡幅	30	42	
3	8	06 B P	42	84		6	06暫 B P	37	79	
4	8	15 拡幅	38	122		8	10暫 B P	38	116	
5	10	10 B P	45	167		8	07暫 B P	9	125	
6	15	07 B P	17	183		9	15 拡幅	38	163	
7	16	09 B P	18	201		10	12 拡幅	12	176	
8	16	08 B P	38	239		13	08完 B P	25	200	
9	16	04 高規格	10	249		15	06完 B P	11	211	
10	18	16 線形改良	1	250		16	04 高規格	9	220	
11	19	19 線形改良	2	252		17	09完 B P	19	239	
12	19	17 線形改良	1	253		18	10完 B P	17	256	
13	25	03 高規格	12	265		21	03 高規格	13	268	

一方、シナリオ8では、表6.11が事業区間の内生化によって算出された区間設定結果である。最適順序では、隣接区間の複合化や、暫定整備後に完成整備といった段階整備の採用が見られ、内生化の特徴が反映された結果となっている。表6.10に、年度予算に割り当てた整備順序を示す。最適解は、バイパス事業の段階整備を進めながら、拡幅事業や高規格道路事業を進める順序となっている。以上から、提案モデルの整備順序は、早期供用、便益量、ネットワーク効果、事業区間の複合化・段階整備による効率的な整備などを勘案した順序となっており、動的ネットワーク評価および事業区間内生化の特徴が表れている。

最終ネットワークにおける単年便益は、シナリオ8（268億円）の方がシナリオ7（265億円）よりも僅かではあるが高くなっており、事業区間を内生化する

表6.11 シナリオ8の事業区間設定結果

整備 順序	事業区間	
	(NO)	(内容)
1	05	高速IC
2	14, 15	拡幅（複合化）
3	06暫定, 07暫定	BP（2車線暫定整備）
4	10暫定	BP（2車線暫定整備）
5	12	拡幅
6	08完成, 09完成, 10完成	BP（4車線完成整備）
7	06完成	BP（4車線完成整備）
8	4, 3	高規格（複合化）

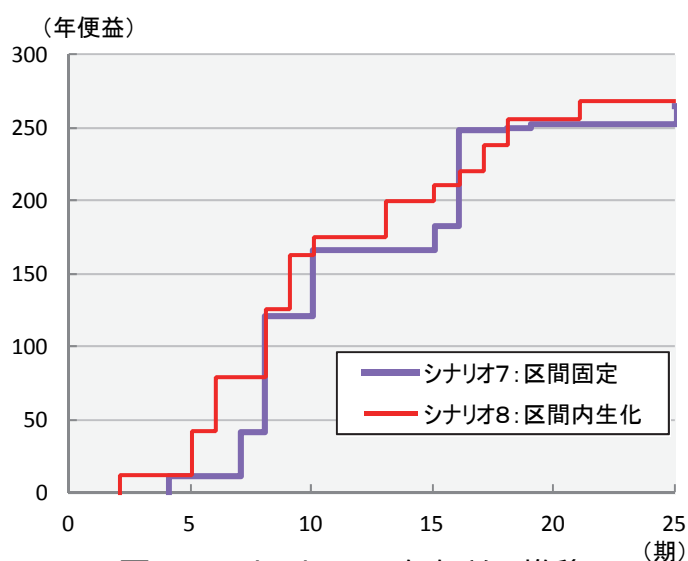


図6.6 シナリオ7と8の年便益の推移

ことによって効率的な事業区間が設定され、評価エリア全体で効果的な事業が採択されている。

図6.6より、中間年の単年便益の推移傾向は、シナリオ8の方が概ね高い位置をキープして推移しており、事業区間を内生化することにより効率的な事業投資が行われていることがわかる。

(4) 総純便益(NPV)結果

シナリオ7と8のNPVをまとめて、表6.12に示す。シナリオ7は、第4期から初期プロジェクトの供用に伴って便益が発現し、以降50年間の第53期までが評価期間となる。シナリオ8は第2期から初期プロジェクトが供用され、50年後の第51期までが評価期間となる。事業費はシナリオ7が第24期まで、シナリオ8が第20期まで投入されている。NPVが単年度でプラスに転じるのは、シナリオ7が第15期からの一方で、シナリオ8が第13期からであり、後者が早い。累積のプラス転換時期も、シナリオ7が第30期からだが、シナリオ8が第27期からであり、後者が早い。NPVを比較すると、シナリオ7が1,275億円、シナリオ8が1,446億円であり、後者が約170億円程度高い。

図6.7にNPVの累積推移を示す。事業費が投入されて以降、早い段階からシナ

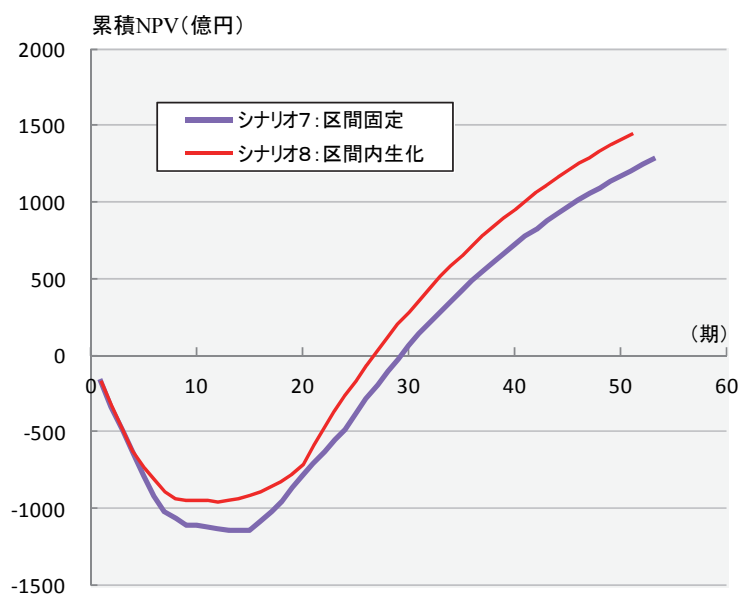


図6.7 シナリオ7と8の総純便益(NPV)の累積推移

表6.12 シナリオ7と8の総純便益(NPV)の推移

(億円)

t期	シナリオ7：区間固定				シナリオ8：区間内生化			
	便益(B) (現在価値)	コスト(C) (現在価値)	B-C (NPV) (現在価値)	(B-C)累積 (NPV) (現在価値)	便益(B) (現在価値)	コスト(C) (現在価値)	B-C (NPV) (現在価値)	(B-C)累積 (NPV) (現在価値)
1		173.1	-173.1	-173		173.1	-173.1	-173
2		166.4	-166.4	-339	10.5	166.4	-155.9	-329
3		160.0	-160.0	-500	10.1	160.0	-149.9	-479
4	9.7	153.9	-144.1	-644	9.7	153.9	-144.1	-623
5	9.3	147.9	-138.6	-782	34.3	147.9	-113.6	-737
6	9.0	142.3	-133.3	-916	62.1	142.3	-80.1	-817
7	31.7	136.8	-105.1	-1,021	59.7	136.8	-77.1	-894
8	88.8	131.5	-42.7	-1,063	91.5	131.5	-40.1	-934
9	85.4	126.5	-41.1	-1,104	114.6	126.5	-11.8	-946
10	112.5	121.6	-9.1	-1,114	118.6	121.6	-3.0	-949
11	108.2	116.9	-8.8	-1,122	114.0	116.9	-2.9	-952
12	104.0	112.4	-8.4	-1,131	109.7	112.4	-2.8	-954
13	100.0	108.1	-8.1	-1,139	120.2	108.1	12.1	-942
14	96.2	103.9	-7.8	-1,147	115.6	103.9	11.6	-931
15	101.8	99.9	1.9	-1,145	117.3	99.9	17.3	-913
16	132.8	74.2	58.6	-1,086	117.5	96.1	21.4	-892
17	127.7	62.7	64.9	-1,021	122.6	92.4	30.2	-862
18	123.3	52.1	71.2	-950	126.2	88.9	37.4	-824
19	120.2	34.3	86.0	-864	121.4	78.1	43.3	-781
20	115.6	33.0	82.6	-781	116.7	43.6	73.2	-708
21	111.2	31.7	79.5	-702	117.7		117.7	-590
22	106.9	30.5	76.4	-626	113.2		113.2	-477
23	102.8	29.3	73.5	-552	108.9		108.9	-368
24	98.8	28.2	70.6	-481	104.7		104.7	-264
25	99.5		99.5	-382	100.6		100.6	-163
26	95.6		95.6	-286	96.8		96.8	-66
27	92.0		92.0	-194	93.1		93.1	27
28	88.4		88.4	-106	89.5		89.5	116
29	85.0		85.0	-21	86.0		86.0	202
30	81.7		81.7	61	82.7		82.7	285
31	78.6		78.6	139	79.5		79.5	365
32	75.6		75.6	215	76.5		76.5	441
33	72.7		72.7	288	73.5		73.5	515
34	69.9		69.9	357	70.7		70.7	585
35	67.2		67.2	425	68.0		68.0	653
36	64.6		64.6	489	65.4		65.4	719
37	62.1		62.1	551	62.9		62.9	782
38	59.7		59.7	611	60.4		60.4	842
39	57.4		57.4	669	58.1		58.1	900
40	55.2		55.2	724	55.9		55.9	956
41	53.1		53.1	777	53.7		53.7	1,010
42	51.1		51.1	828	51.7		51.7	1,062
43	49.1		49.1	877	49.7		49.7	1,111
44	47.2		47.2	924	47.8		47.8	1,159
45	45.4		45.4	970	45.9		45.9	1,205
46	43.6		43.6	1,013	44.2		44.2	1,249
47	42.0		42.0	1,055	42.5		42.5	1,292
48	40.4		40.4	1,096	40.8		40.8	1,332
49	38.8		38.8	1,134	39.3		39.3	1,372
50	37.3		37.3	1,172	37.8		37.8	1,409
51	35.9		35.9	1,208	36.3		36.3	1,446
52	34.5		34.5	1,242				
53	33.2		33.2	1,275				
合計	3652	2377.2	1,275	-	3846	2400.3	1,446	-
	B/C=		1.54		B/C=		1.60	

リオ8の方が上方を推移している。

以上のように、事業区間を内生化したシナリオ8の方が、NPVに関して、事業採択や整備順序、事業投資において効率的な解が得られることが明らかとなった。

6.5 まとめ

本章では、対象地域の道路ネットワーク上に配置した複数の道路事業の採択・整備順序を評価する際に、事業区間の設定をモデル内で決定できるように内生化した動的事業評価モデルを提案した。本研究で実施したシミュレーション分析では、動的評価の有効性検証と事業区間内生化の有効性検証に係わる2ケースを行い、以下の成果を得た。

従来のB/Cマニュアル等による静的評価に比べると、ネットワーク外部性を考慮した動的評価では、評価期間とした50年間のNPVが高くなった。つまり、提案した動的評価モデルの有効性が示された。さらに、従来の事業区間を固定した評価手法と比較して、事業区間を内生化した本モデルは、指標としたNPVも高く、効率的な事業区間設定および事業採択・整備順序が算出された。つまり本モデルの有効性が示された。

本研究で提案した動的評価により、実際の道路整備においてもネットワーク外部性や便益効果は存在するため、それを考慮する整備計画立案は重要と考えられる。他方で、実際の地域道路ネットワーク計画においては、計画通りに道路整備が進まないことも多い。そのような場合、計画見直し段階ごとに動的評価による計画の再評価を行う必要がある。

第6章の参考文献

- 1) 桐越信, 森川高行, 城所幸弘, 毛利雄一, 松岡斉: 道路事業における費用便益分析の現状と課題 (座談会), 交通工学, Vol.43, pp.15-25, 2008.
- 2) 安藤良輔, 上仙靖, 田中慎次, 角谷英樹, 市川昌: 異なる機能を有する幹線道路の整備優先順位における評価・検討, 土木計画学研究・講演集, 2002.
- 3) 美濃雄介, 青山吉隆, 中川大, 松中亮治, 赤堀圭佑: 都市内高速道路網における拡幅プロジェクト実施順序に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, pp.619-626, 2002.
- 4) 高田寛, 東本靖史, 岸邦宏: 円滑性の効率的観点による道路整備区間の優先順位評価, 土木計画学研究・講演集, 2009.
- 5) 小笹俊成, 塚井誠人, 藤原章正: 事業区間を内生化した事業評価方法の研究, 第 44 回土木計画学研究発表会, 2011.
- 6) 小笹俊成, 塚井誠人, 藤原章正: 事業区間を内生化した動的な道路事業評価方法の提案, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.5, pp.929-941, 2012.

第7章 誘発交通を考慮した便益計測

7.1 ケーススタディの概要

実務における道路事業評価は、費用便益分析マニュアルに準拠した仮定の下で行われる。そのため、道路整備前後で OD 交通量に変化しないという前提の下で便益計測が行われる点は、以下の点で実際の交通需要と整合しない可能性が高い。たとえば実際の地域道路ネットワークの整備完了までには数十年をかけて行われることが多いが、この間に段階的に道路整備が行われて供用されると、整備対象地区周辺の利用者のトリップ発生量や目的地が変化する、つまり OD 交通量も変化する¹⁾ことが多い。以下本章では、上述のメカニズムによって起こる交通量の変化を、「誘発交通」と呼ぶ。

地方部の買物交通では、道路整備によってトリップ頻度が増加するばかりでなく、これまでよりも遠くの買物先にトリップする誘発交通が観測されることがある。これは、利用者は遠方の目的地であっても品揃えや利便性で買い物を行うことに魅力を感じているため、と考えられる。一方、近場から遠方の目的地へ転換するような誘発交通は、従来の費用便益マニュアルのベースとなっている一般化費用では便益計測ができない場合がある。これは、以下の理由による。たとえば移動時間を時間価値で費用換算し、それに高速道路利用料金などの移動に伴う直接費用を追加して一般化費用を表現したとき、時間短縮を加味しても一般化費用がやや増加するためである。このとき見かけ上は一般化費用の増加につながる目的地選択を消費者が行っていることとなり、計測される便益は必然的に負となる。このような不合理は、実際の利用者は、目的地の魅力度を含むアクセシビリティを考慮した選択を行っているためと考えられる。

本章では、誘発交通を考慮した交通需要予測モデルの提案と、提案モデルを実際の道路網へ適用した場合における道路整備便益の計測・検証を行う²⁾。具体的には、第3章で提案した、提案モデルの中の「交通需要予測モデル」について、中国地方における道路網と買物 OD 交通量を対象とした、実データに基づくモデル推定を行うとともに、推定したモデル式を用いて、中国地方の平成17年から平成22年の道路網変化に対する買物 OD 交通量の誘発交通量予測および便益計算を行う。

7.2 本研究で取り扱う誘発交通と既往研究のレビュー

道路整備に関わる費用便益分析は、四段階推計法が採用されている。四段階推計法については、各段階で設定する一般化費用と分布交通量がそれぞれ異なる結果が得られるという、モデルシステムとしての内的整合性の問題があることが知られており、これを解消するために様々な統合手法が提案されてきた。

研究レベルでは、発生・分布・配分モデル等の統合モデルが一般的であり^{3,4,5)}、OD間の一般化時間等のアクセシビリティをログサム変数で結合する方法が主流である。円山ら⁶⁾は、発生・分布・分担・配分をNested Logitで結合し、混雑地域における道路整備の利用者便益を計算している。しかしこの研究で考慮されている誘発交通は、従来の一般化費用（移動時間を時間価値で費用換算した上で移動料金を加算）の下で算出されており、Wardrop'則を仮定することによって、上述した従来の意味で定義される一般化費用が増加する地域へのOD交通量は、増えない構造となっている。

交通需要と土地利用等の変化を同時に扱い、かつ便益を計測する手法としては、応用都市経済（CUE）モデルが提案されており、適用事例も多い^{7,8,9)}。しかし帰着サイドで計測する同モデルの便益は、理論的には発生サイドで計測する従来の便益と一致するはずだが、実際には、1)取り扱うデータ量の多さとモデル構築に労力を要するという問題に加えて、2)土地利用・交通市場が均衡するまでに要する時間軸を明示的に考慮できないという問題のため、一致しないことも多い。

発生・分布・配分モデルの結合モデルの交通需要予測手法としての利点は、算出される一般化費用や交通量の整合性が、各段階の間で担保される点である。しかしそのためには、これらの情報を各段階のモデル間で複数回やりとりするなどの比較的複雑な計算を要するため、実務的には簡便性の面で課題が多い。よって実際には、発生・分布・配分の各段階が別々に実施されることが多く、さらに配分計算に適用する分布交通量（OD交通量）は道路整備の有無に関係なく同じ値が適用されることが多かった。

本研究では、道路整備便益計測に関する分布交通量固定問題に対して、従来とは異なる角度から検討を加える。具体的には、たとえ移動時間と移動費用によって構成される一般化費用の増加を伴っていても、遠方の目的地への転換が利用者の行動原理として妥当であり、さらに費用便益分析と整合的な手法として、アクセシビリティ指標を含むモデルを提案する。提案モデルは、分布交通や発生交通に関する目的地選択に、目的地のアクセシビリティを導入した場合の現況再現性について、実データを用いて検討する。以上の議論を踏まえた、本研究で取り扱う誘発交通をまとめて表7.1に示す。

表7.1 本研究で扱う誘発交通

要因	概要・本研究での扱い	本研究対象
経路の変更	・改良された道路を利用するように変更 ⇒配分計算モデルにおいて反映	○
手段の変更	・公共交通利用から自動車利用へ変更	×
目的地の変更	・遠距離の商業施設への買物トリップ ⇒分布モデルにおいて反映	○
トリップ発生	・移動頻度の増加、新規移動の発生 ⇒発生モデルにおいて反映	○
出発時刻変更	・混雑が緩和された時間帯に出発時刻を変更	×
乗車人員削減	・相乗りの取りやめ	×
開発交通	・社会経済活動の変化による立地変更	×

7.3 本章での適用モデル式

第3章で定式化した提案モデルをベースに、本章で適用する実証分析モデルを整理する。基本的には第3章と同じであるが、本章での実証分析では、整備順序の算出は行わないので、交通需要予測モデルと便益計測モデルのみを示す。

(1) 交通需要予測モデル（発生・分布・配分結合モデル）

1) 発生交通量モデル

$$G_i^t = \sum_k \alpha_k X_{ki}^t + \beta ACC_i^t + C \quad (7.1)$$

$$ACC_i^t = \ln \sum_j \exp(V_{ij}^t) \quad (7.2)$$

2) 目的地分布モデル（目的地選択モデル）

$$X_{ij}^t = G_i^t \cdot \frac{\exp(V_{ij}^t)}{\sum_j \exp(V_{ij}^t)} \quad (7.3)$$

$$V_{ij}^t = \theta TC_{ij}^t \quad (7.4)$$

$$TC_{ij}^t = (T_{ij}^t \cdot \omega + C_{ij}^t) + \lambda S_j^t \cdot (T_{ij}^t)^\gamma \quad (7.5)$$

3) 交通量配分モデル（利用者均衡配分モデル）

$$\min_{x_a^t} Z_t = \min_{x_a^t} \sum_a \int_0^{x_a^t} t_a(w) \cdot dw, \quad \forall t \quad (7.6)$$

$$x_a^t = \sum_{ij} \sum_k d_{ij,k}^a \cdot f_{ij,k}^t \quad \forall a, t \quad (7.7)$$

$$\sum_k f_{ij,k}^t - X_{ij}^t = 0 \quad \forall ij, t \quad (7.8)$$

$$f_{ij,k}^t \geq 0 \quad \forall ij, k, t \quad (7.9)$$

$$x_a^t \geq 0 \quad \forall a, t \quad (7.10)$$

$$t_a(x_a^t) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a^t}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (7.11)$$

(2) 便益計測モデル

1) 期待最小費用

$$W_i^t = \frac{1}{\theta} \ln \sum_j \exp(\theta TC_{ij}^t) \quad (7.12)$$

2) 便益計測方法

$$B(X_t) = \sum_i G_i^t (W_{i,without}^t - W_{i,with}^t) \quad (7.13-a)$$

$$G_i^t = (G_{i,with}^t + G_{i,without}^t) / 2 \quad (7.13-b)$$

誘発交通がない時： $G_{i,with}^t = G_{i,without}^t$

誘発交通がある時： $G_{i,with}^t > G_{i,without}^t$

7.4 実証分析

7.4.1 分析概要

前節で示したモデル式を実際の道路網に適用して、効果や課題を検証する。具体的な手順を図 7.1 に示す。まず、平成 17 年の道路交通センサスデータをもとにパラメータ推定を行い、モデル精度を確認するとともに、実績データの比較による現況再現精度の検証を行う。また、推定したモデル式を平成 22 年道路交通センサスによる平成 22 年道路網に適用し、道路整備による交通需要の変化について、本モデルの有効性を検証する。その上で、平成 17 年から平成 22 年の間に、実際に整備された道路網の変化に対する便益試算を行い、便益計測に関わる本モデルの効果を確認する。

実証分析（ケーススタディ）の概要は表 7.2 に示すとおりであり、中国地方全域（B ゾーン：674 ゾーン）における一般県道以上の道路網を対象に、道路整備に伴う誘発交通の変化量と、その際の便益を算出する。なお、分析対象とする行動目的は、一般化費用が増加する目的地に対する誘発交通の発生が予想される「買物交通」とする。なお比較のため、その他の目的交通は道路交通センサスの実績値（OD 交通量）、つまり固定値とする。

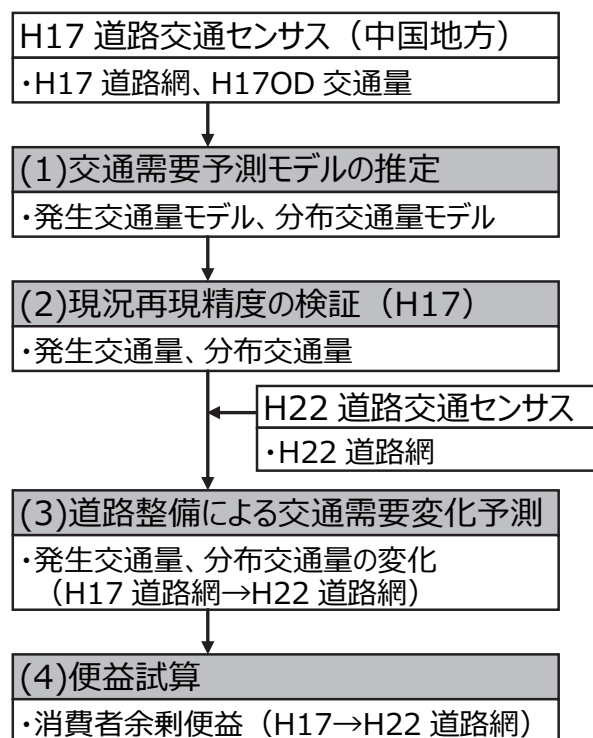


図7.1 実証分析の検討フロー

表 7.2 実証分析（ケーススタディ）の概要

項目		概要
分析 共通 条件	対象エリア	・中国地方全域
	対象ゾーン	・Bゾーン（中国地方：674ゾーン）
	対象道路網	・一般県道以上（一部主要市道等を含む）
	需要予測	・買物目的交通
	対象トリップ	・その他は道路交通センサスOD交通量を固定
交通需要予測モデル の推定		・発生・分布・配分交通量の統合モデルを適用 ・パラメータ推定は、発生・分布モデル。配分モデルは既往の利用者均衡配分法を適用 ・ゾーン間交通条件（移動時間等）は利用者均衡配分結果を適用 ・モデル式は2種類（分布モデルの効用関数に目的地ポテンシャル（商業床面積など）を考慮したタイプとしないタイプ）推定
現況再現精度 の検証		・予測した発生交通量・分布交通量をH17道路交通センサスOD交通量(実績)と比較
道路整備による 交通需要 変化予測		・H17道路網→H22道路網の整備効果を分析 ・買物交通の変化をモデル間で検証 ・道路網以外の人口、商業施設等の土地利用はH17固定
便益試算		・H17道路網→H22道路網の時間短縮等に伴う消費者余剰を計測 ・需要固定タイプと需要変動タイプの比較、及び目的地ポテンシャル考慮の効果確認

7.4.2 交通需要予測モデルの推定

中国地方の平成17年道路交通センサスデータをもとに、買物交通の発生・分布交通量モデルを推定する。推定モデルは、式(7.5)の第2項（目的地ポテンシャル S_j ）を含まない従来的一般化費用ケースのモデル1と、第2項を含む目的地ポテンシャル（商業床面積）考慮ケースのモデル2の2種類を推定する。

発生・分布交通量予測モデルのパラメータ推定結果を表 7.3 に示す。なお、パラメータ推定にあたって、式(7.4)と式(7.5)の θ と ω が乗算となるので、両パラメータについて識別問題が発生する。そこで簡便のため、本研究では、 ω を費用便益分析マニュアルに示される時間価値を参考に便宜的に 50 円/分と設定し、 θ だけを推定した。結果を見ると、期待最小費用と重相関係数、尤度比は、発生交通量モデル、分布交通量モデルともモデル 2 の方が高く、全体のモデル精度としては、商業ポテンシャルを考慮したモデル 2 の方が高い。

発生交通量モデルは、モデル 1 とモデル 2 の重相関係数に大差ないが、アクセシビリティ(ACC)の t 値から、モデル 2 の方がよりアクセシビリティの違いに対して敏感な結果が得られている。

分布交通量のモデル 2 では、目的地ポテンシャル(λ)の符号がマイナスとなった。商業ポテンシャルを示す商業床面積は、式(7.5)の一般化費用(TC)を下げる方向へ働き、式(7.4)の効用には θ (マイナス)と合わせてプラス方向へ働く。また目的地ポテンシャルと合わせて採用した時間抵抗(γ)も十分な t 値となっており、遠方の商業施設ほど、その影響は小さくなる傾向がみられる。すなわち、推定された符号は想定条件を満たしている。

表7.3 発生・分布モデルのパラメータ推定結果

	説明変数	モデル 1	モデル 2
発生	定数項	-	-
	居住人口	0.091 (43.34)**	0.089 (39.46)**
	ACC	108.132 (6.80)**	101.715 (7.02)**
	サンプル数	674	674
	重相関係数	0.8671	0.8677
分布	期待最小費用 (θ)	-0.00096 (32.45)**	-0.00096 (29.71)**
	目的地ポテンシャル (λ)	-	-0.2266 (8.91)**
	目的地ポテンシャル の時間抵抗(γ)	-	0.6614 (15.25)**
	時間価値 (ω)	50 円/分	
	サンプル数	674	674
	尤度比	0.544	0.612

()は t 値、** : 1%有意、* : 5%有意

7.4.3 現況再現精度の検証

表 7.4 より、発生交通量は両モデルともほぼ同程度だが、モデル 2 の商業ポテンシャルを考慮したモデルの方が、分布交通量の現況再現精度が高い。

分布交通量の移動距離帯別の集計結果を図 7.2 に示す。平成 17 年道路交通センサスによる実績交通量は、移動距離 10km 未満のトリップ数が非常に多く、10km 以上になると極端に減少する。一方再現精度はモデル 2 が高く、すべての移動距離帯において、再現精度が高まっている。この理由は、モデル 1 が一般化費用の大小のみに応じて分布交通量が予測されるのに対し、モデル 2 は商業施設があるゾーンに対して交通量が分布するため、全体としては出発地に近い商業施設ゾーンへの分布が多くなると共に、出発地から遠い商業施設ゾーンへの分布も残る傾向が現れるため、と考えられる。しかしながら、図 7.2 に示すモデルの再現精度は、0～30km の範囲ではモデル 2 で十分とは言えないため、さらなる改良が望まれる。

表7.4 現況再現結果

	説明変数	モデル 1	モデル 2
発生	相関係数	0.8673	0.8649
	R M S E	632(台)	637(台)
分布	相関係数	0.5582	0.6119
	R M S E	37(台)	34(台)

注) 中国地方全域 (674 ゾーン)

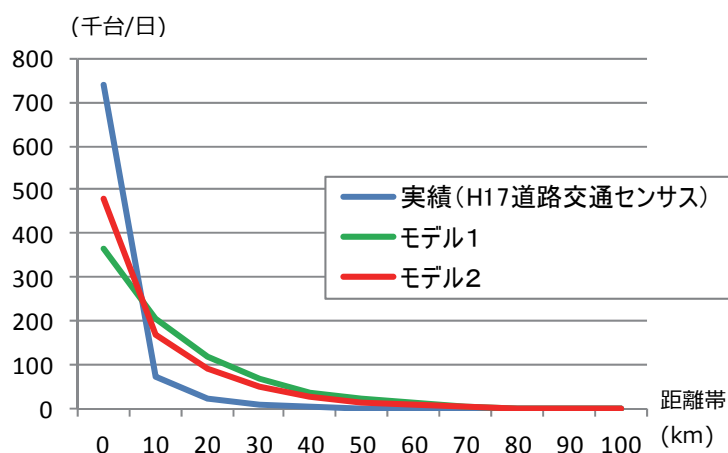


図7.2 移動距離帯別予測トリップ数（買物交通）

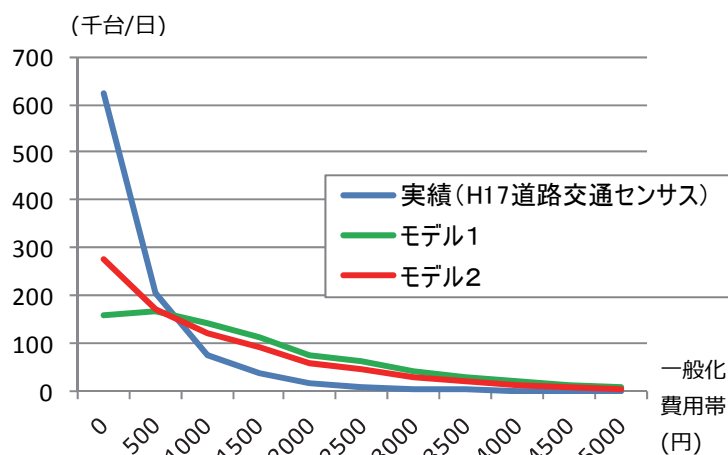


図7.3 一般化費用帯別予測トリップ数（買物交通）

7.4.4 道路整備による交通需要変化予測

表 7.3 の交通需要予測モデルを用いて、平成 22 年の道路ネットワークに対する交通需要予測を行った。なお以下の予測では、人口や商業施設の増減は考慮せず、道路整備のみを考慮した。

発生交通量の予測結果を表 7.5 に示す。平成 17 年から平成 22 年における道路網整備に伴う交通量の増分は、モデル 1 では 0.5%、モデル 2 では 0.9%と予測された。モデル 2 の方が発生交通量の増分が多い理由は、商業施設があるゾーンへの道路整備による効果が、モデル 1 よりも適切に表現されているためと考えられる。

分布交通量の予測結果の違いを検討するため、表 7.6 に移動距離帯別の分布交通量の増減率を示す。モデル 2 の方がモデル 1 よりも発生交通量の増加量が多いため、全体的にはどの移動距離帯においてもトリップ増加率は高くなっている。分布交通量の距離帯別増加傾向として、10km 未満の近距離帯と 50km 以上の遠距離帯において、特に増加率が高いことがわかる。すなわち、従来のゾーン $i-j$ 間の一般化費用等のみを考慮したモデル 1 よりも、目的地ポテンシャルを考慮したモデル 2 の方が、平成 17 年の現況再現結果と同様、近距離帯と長距離帯の予測精度が高いと言える。また、モデル 2 の移動距離帯別の増減率に着目すると、近距離帯が減少（10km 未満が -1.9%）する一方で、その分遠方の距離帯が増加（20km 以上が増加）している。つまり提案モデルは、特に将来ネットワークにおいてアクセシビリティが改善した際にも、遠方商業施設の集客

表7.5 発生交通量予測結果

区分	モデル1		モデル2	
	H17	H22	H17	H22
総発生交通量 (千台)	851	856	856	864
現況(H17)予測 からの増減量	－	4.7	－	7.8
現況(H17)予測 からの増減率	－	+0.5%	－	+0.9%

(参考) H17実績：854,980台/日

H22実績：980,835台・日

表7.6 移動距離帯別トリップ数増減率（平成17年→22年）

距離帯	モデル1	モデル2	モデル2 －モデル1
0km～	-3.9%	-1.9%	+2.0 ポイント
10km～	-0.8%	-0.7%	+0.1 ポイント
20km～	+2.9%	+3.0%	+0.1 ポイント
30km～	+6.0%	+6.3%	+0.3 ポイント
40km～	+12.2%	+12.5%	+0.3 ポイント
50km～	+17.9%	+19.4%	+1.5 ポイント
60km～	+23.9%	+27.5%	+3.6 ポイント
70km～	+34.0%	+41.7%	+7.7 ポイント
80km～	+48.8%	+67.3%	+18.5 ポイント
90km～	+60.5%	+114.5%	+54.0 ポイント
100km～	+162.0%	+265.2%	+103.2 ポイント

表7.7 一般化費用帯別トリップ数増減率（平成17年→22年）

一般化 費用帯	モデル1	モデル2	モデル2 －モデル1
0円～	-6.9%	-4.8%	+2.1 ポイント
500円～	-3.2%	+0.3%	+3.6 ポイント
1000円～	-1.5%	-0.5%	+1.0 ポイント
1500円～	+1.1%	+1.9%	+0.8 ポイント
2000円～	+3.3%	+3.8%	+0.6 ポイント
2500円～	+6.3%	+6.9%	+0.6 ポイント
3000円～	+9.9%	+10.9%	+1.0 ポイント
3500円～	+13.4%	+13.6%	+0.3 ポイント
4000円～	+17.5%	+17.8%	+0.2 ポイント
4500円～	+17.9%	+19.4%	+1.5 ポイント
5000円～	+26.4%	+33.7%	+7.3 ポイント

を適切に表現できる可能性がある。

7.4.5 便益試算

7.4.4 の交通需要予測結果に基づいて、式(7.12)、(7.13)より便益試算を行う。便益計測対象は引き続き買物交通である。また、誘発交通を考慮した需要変動タイプの提案モデルと比較するために、需要固定タイプのモデルについても便益計算を行った。

試算結果を表 7.8 に示す。需要固定タイプの従来手法で試算した場合、年間約 310 億円となった。これに対し、需要変動を考慮したモデルでは、モデル 1 が 316 億円/年、モデル 2 が 369 億円/年となり、いずれも従来手法と比べて、計上便益が増加している。特にモデル 2 では、一般化費用の削減幅が大きい遠方の目的地へのトリップ数が減少しているにも関わらず、近隣の目的地に対するトリップ再現精度が改善することによって、便益が増加している。

以上より、目的地の魅力を目的地ポテンシャル（商業床面積）として一般化費用に加算することにより、事業実施後の分布交通量が適切に推計できると共に、その際の便益評価についても改善を図ることができたと考えられる。

表7.8 平成17年→22年の道路整備の買物交通に関する便益計測結果

区分		需要固定 従来手法*1	需要変動考慮	
			モデル1	モデル2
消費者余剰便益 (億円/年)		310	316	369
従来手法 との比較	増減量	－	6.5	59.8
	増減率	－	+2.1%	+19.3%

*1：H17OD需要で固定。一般化費用の減少を計上。

7.5 まとめ

本研究では、買物交通の誘発交通量を予測する手法として、一般化費用に目的地ポテンシャル（商業床面積）を考慮する方法を提案した。

提案手法により、分布交通量の現況再現精度が向上するとともに、道路整備に伴う誘発交通の一つである近場目的地から遠方目的地への転換行動について

も、従来のゾーン i - j 間の交通条件（一般化費用等）のみを考慮したモデルに比べて、適切な予測，並びに便益計測が可能と考えられる．

ただし道路整備効果として，提案モデルを用いて予測した平成 22 年の交通量は，平成 22 年の道路交通センサス値（実績）と比べると，発生交通量などについて，依然として乖離が見られる．この点については，距離抵抗を表す一般化費用項の特定化の再検討を含めて，引き続き交通需要予測モデルの精度向上を図る必要がある．たとえば，複数年次のデータを用いた変化モデルの構築や，目的地ポテンシャルの反映方法について検討する必要がある．さらに，買物交通以外の誘発交通の考慮などが必要と考えられる．

第7章の参考文献

- 1) 室町泰徳，原田昇，太田勝敏：誘発交通量の算定に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，No.14, pp.519-526, 1997.
- 2) 小笹俊成，塚井誠人，藤原章正：誘発需要を考慮した道路整備便益手法の一提案，第 33 回交通工学研究発表会，2013.
- 3) 宮城俊彦，加藤晃：ランダム効用理論を基礎とした交通統合モデル，土木計画学研究・論文集，No.1, pp.99-106, 1984.
- 4) 河上省吾，石京，藤田仁：分担・配分統合モデルの改良と名古屋市鉄道計画の評価に関する研究土木計画学研究・論文集，No.12, pp.657-664, 1995.
- 5) 円山琢也，原田昇，太田勝敏：大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用，土木計画学研究・論文集，Vol.19, No.3, pp.551-560, 2002.
- 6) 円山琢也，原田昇，太田勝敏：誘発交通を考慮した混雑地域における道路整備の利用者便益推定，土木学会論文集，No.744/IV-61, pp.123-137, 2003.
- 7) 谷本圭志，牧修平，喜多秀行：地方部における公共交通のためのアクセシビリティ指標の開発，土木学会論文集 D, Vol.65, No.4, pp.544-553.
- 8) 山崎清，武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析，運輸政策研究，Vol.11, No.2, pp.14-25, 2008.
- 9) 山崎清，上田孝行，武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の比較分析，高速道路と自動車，第 51 巻，第 11 号，pp.22-33, 2008.

第8章 目的施設の集積の多様性を考慮した動的評価

前章で扱った買物交通では、近隣のゾーンに存在する小規模な商業集積ではなく、複数の種類の品物の買い回りに便利なやや遠方のゾーンに向かうことがある。また地域間を流動することの多い観光交通では、通勤交通のように目的地にそのまま向かうのではなく、目的地周辺で周遊を行うことが多い。トリップメーカーがこのようなトリップを選択する理由として、目的地に量的に多くの集積があることに加えて、質的に多様な集積が存在することが考えられる。すなわち買物トリップの場合、トリップにかかる直接費用として計測した一般化費用の増加によるデメリットよりも、質的に多様な集積によるメリットが上回るのならば、そのような目的地に対して多くの集中トリップが現れるというメカニズムが考えられる。また観光トリップの場合、トリップメーカー自身が目的地周辺を周遊する様に、そのトリップチェーン全体で質的に多様な集積を有する目的地集合を構成する可能性が考えられる。このとき、一般化費用の増分の相殺、またはそれ以上のメリットが生じるというメカニズムが正しいならば、上記の選択が合理化される可能性がある。

一方、トリップの空間的な範囲の計測にあたって、それが目的地ゾーン内に収まるか否かは、分析者が設定したゾーンサイズに依存する。目的地周辺のゾーン間周遊に関しては、これまで観光交通に関する研究の中で精緻なモデリングや調査が展開されてきた¹⁾。その一方で、昨今の郊外型商業施設においてみられるような、一店舗内に長時間にわたって滞在する買物行動や、比較的短時間に複数の店舗を周遊する買物行動などを交通需要分析において扱う際には、ゾーン内で発生する周遊を扱わざるを得ない。

以上の議論は、集積の多様性をゾーン内の魅力度として定式化せよ、という要請にほかならない。目的地の魅力に関しては、時間地理学や交通工学の分野でアクセシビリティ指標として研究されてきていたが、それらは主に量的集積（集積規模）に着目した定式化を採用してきた。一方で、近年の空間経済学では、消費者が質的集積（水平的に差別化された多様な財の集積）を好むと仮定した定式化^{2,3)}を用いて、一定の成果を収めてきた。

本章では、以上の議論を踏まえて目的地選択モデルの定式化を工夫した定式化を行った上で、これを提案モデルに組み込んで動的な道路事業評価を行う。具体的には、集積の多様性を表現した項と従来のOD間の一般化費用関数を組み合わせた目的地効用を修正する。その際、後述するように、利用者は出発地周辺の短距離トリップに要する一般化費用に対しては、ほとんど弾力性を示さず、一定以上遠方の目的地に対してのみ緩やかに反応するというメカニズムの妥当性についても検討を加える。

8.1 多様な集積を考慮した誘発交通量予測モデルの定式化

本章では，発生交通量に影響を及ぼす目的地の魅力度，に，目的ゾーン内の施設の多様性を表す指標を導入する．まず，前章で示した目的地選択モデルの定式化を再掲する．

$$ACC_i^t = \ln \sum_j \exp(V_{ij}^t) \quad (8.1)$$

$$V_{ij}^t = \theta TC_{ij}^t \quad (8.2)$$

$$TC_{ij}^t = (T_{ij}^t \cdot \omega + C_{ij}^t) + \lambda S_j^t \cdot (T_{ij}^t)^\gamma \quad (8.3)$$

本節では，目的地の魅力度を表す効用関数(8.3)に代えて，以下の式(8.4)を効用関数として用いて，目的地選択モデルの推計を行う．

$$TC_{ij}^t = (\max(T_{ij}^t - \tilde{T}, 0) \cdot \omega + C_{ij}^t) + \lambda \left(\sum_k (S_{jk}^t)^a \right)^{-a} \quad (8.4)$$

本効用関数の概念図を図8.1に示す．右辺第1項に現れる \tilde{T} は，トリップメーカーの出発地周辺で定義される時間バッファの境界を表すパラメータである．

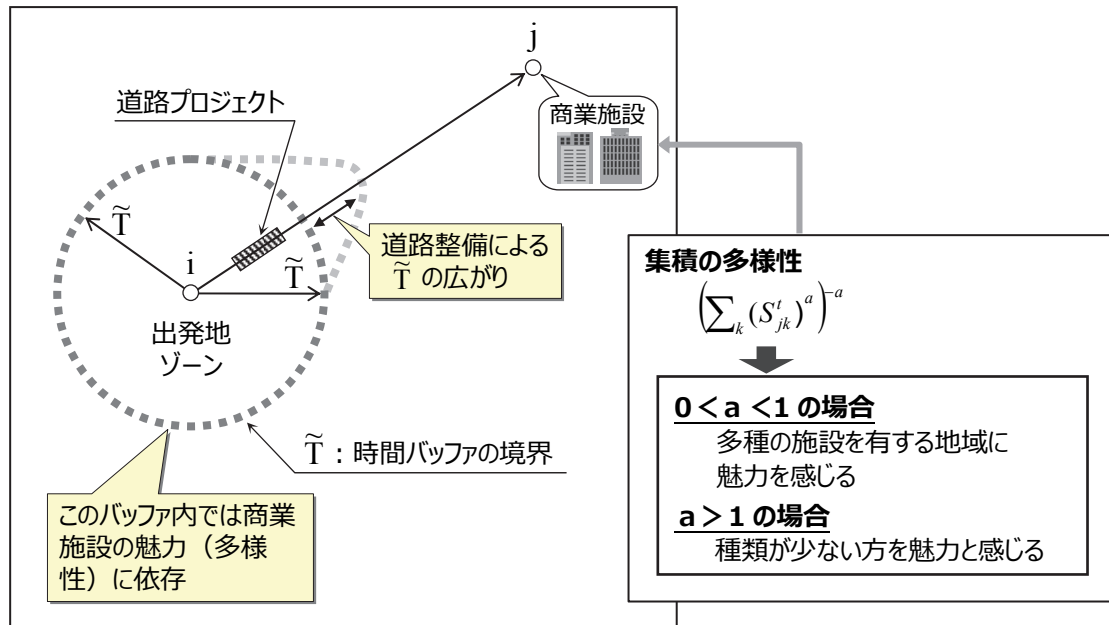


図8.1 目的地の魅力度を表す効用関数式(8.4)の概念図

所要時間に対してこのようなバッファを定義することによって、出発地周辺で従来の一般化費用に起因する不効用が起こらないエリアを表現する。なお道路整備によってゾーン間所要時間 T_{ij} が短縮すると、このバッファは空間的には大きくなることに注意する必要がある。

右辺第2項は、目的地 j における種別 k の床面積 S_{jk} が、一般化平均によって加重されることを意味する。森地らは、一般化平均を効用関数に用いることによって、属性間の不完全代替性を表現できることを示した⁴⁾。定義より $a > 0$ であり、 $0 < a < 1$ のときトリップメーカーは目的地の床面積の分布に対して凹な選好を有する、つまり総和が同面積であれば多種の床を有する地域に対して魅力を感じていることを表す。一方で、 $a > 1$ であれば、その面積が少種の床によって占められている場合に魅力を感じることを表現している。

第1項に第2項を加えた定式化が正しい場合、トリップメーカーは、所要時間バッファ内では純粋に床面積の多様性に起因する（買物）目的地間の魅力度を考慮していることになり、一見して不合理なやや遠方の多様な集積を有する目的地に対して、より多くのトリップが集中する現象を合理的に説明できる。なお実証分析に当たっては第1項と第2項の設定について、その有無（無しの場合は式(8.3)の第1項のみとなり、従来の一般化費用に一致する）を組み合わせた4パターンの定式化を比較して、適切な効用関数の特定化を図る。

8.2 買物交通を対象とした誘発交通量予測モデルの推定

8.2.1 分析データの概要

分析データには、平成17年、22年の道路交通センサスデータを用いることとし、対象地域は広島県地域とした。広島県地域では、平成17年から平成22年にかけて、都市内あるいは都市間を連絡する都市高速道路や高規格幹線道路が供用しており、かつ供用路線の沿線等において商業施設の立地も見られるため、分析地域として選定した。表8.1に分析データの概要を示す。また、表8.2、図8.2に平成17年から平成22年に供用した主な道路一覧を、表8.3に商業施設の多様性として適用した中分類を示す。

表8.1 誘発交通量予測モデルの分析データの概要

項目	内容
① 対象地域	広島県地域
② 対象データ (道路データ, OD交通量)	H17,H22道路交通センサスデータ
③ 誘発交通の予測対象	買い物交通
④ 対象地域のゾーン数	広島県内=175ゾーン (H17のBゾーン数)
⑤ 対象道路網	道路交通センサス対象道路 (一般県道以上及び政令指定市の一般市道含む)
⑥ 商業施設データ	a. 市区郡別_産業分類中分類別_売場面積, 年間販売額 (H16,H19商業統計, H21経済センサス) b. 年間販売額(メッシュデータ) (H19商業統計) ※a.の小分類別売場面積が市区郡単位のため, b.の年間販売額データを用いて, センサスBゾーン単位へ按分して設定。

表8.2 広島県地域における平成17年～平成22年に供用した主な道路一覧

路線名	区間	供用年月
広島高速1号線	馬木IC～広島東IC	H18年10月
広島高速2号線	全線(間所IC～仁保IC)	H22年 4月
東広島・呉道路	上三永IC～馬木IC	H19年11月
	高屋JCT～上三永IC	H22年 3月
中国横断自動車道 尾道松江線	尾道JCT～世羅IC	H22年11月
東広島バイパス	海田東～中野	H18年 3月

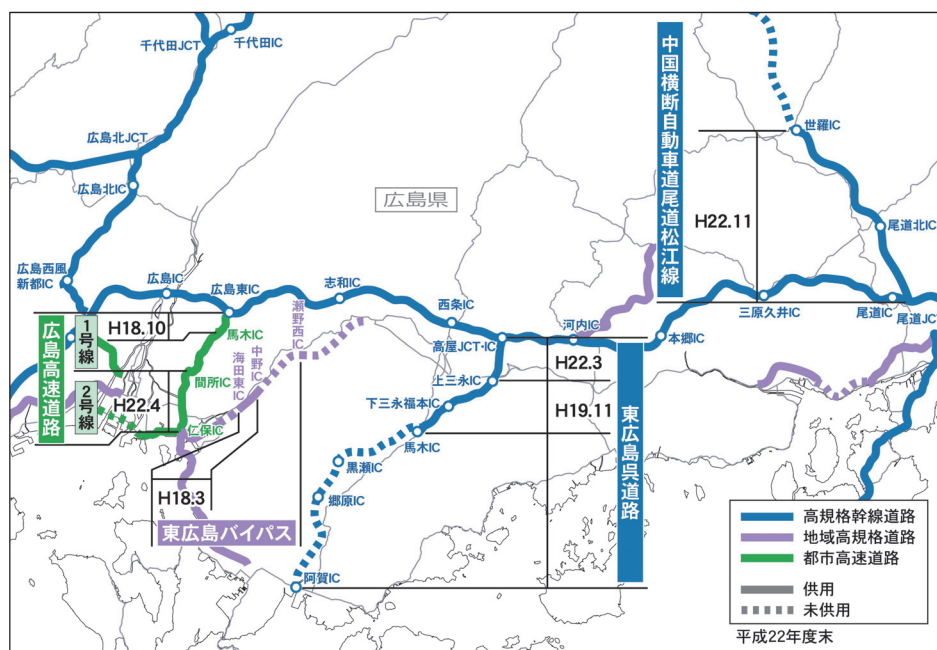


図8.2 広島県地域における平成17年～平成22年に供用した主な道路の位置図

表8.3 商業施設の売場面積の多様性に適用した中分類

中分類	小分類
55 各種商品小売業	551 百貨店, 総合スーパー 559 その他の各種商品小売業(従業者が常時50人未満のもの)
56 織物,衣服,身の回り品小売業	561 呉服,服地,寝具小売業 562 男子服小売業 563 婦人,子供服小売業 564 靴,履物小売業 569 その他の織物,衣服,身の回り品小売業
57 飲食料品小売業	571 各種食料品小売業 572 酒小売業 573 食肉小売業 574 鮮魚小売業 575 野菜,果実小売業 576 菓子,パン小売業 577 米穀類小売業 579 その他の飲食料品小売業
58 自動車,自転車小売業	581 自動車小売業 582 自転車小売業
59 家具,じゅう器,機械器具小売業	591 家具,建具,畳小売業 592 機械器具小売業 599 その他のじゅう器小売業
60 その他の小売業	601 医薬品,化粧品小売業 602 農耕用品小売業 603 燃料小売業 604 書籍,文房具小売業 605 スポーツ用品,がん具,娯楽用品,楽器小売業 606 写真機,写真材料小売業 607 時計,眼鏡,光学機械小売業 609 他に分類されない小売業

資料：商業統計調査，経済センサス

8.2.2 誘発交通量予測モデルの推定

(1) 予測モデルの推定ケース

上述のとおり，推定ケースは，目的地の魅力度を示す効用関数式(8.4)の第1項の \tilde{T} と，第2項の $\lambda \left(\sum_k (S'_{jk})^a \right)^a$ の有無を組み合わせた，表8.4に示す4パターンについて推定し，第1項と第2項のそれぞれの影響について比較する。

表8.4 誘発交通量予測モデルの推定ケース

モデル番号	式 (8.4)	
	第1項 \tilde{T}	第2項 $\lambda \left(\sum_k (S_{jk}^t)^a \right)^{-a}$
モデル1	無し	無し
モデル2	有り	無し
モデル3	無し	有り
モデル4	有り	有り

なお、モデルパラメータは基本的に最尤法によって推定するが、 \tilde{T} については、非連続な関数形を設定しているため、解析的な手法ではパラメータ値の推定が困難である。そこで、 \tilde{T} を1分、2分、3分・・・と外生的に与えた上で、残りのパラメータを推定することとした。

(2) 誘発交通量予測モデルの推定結果

推定した予測モデル式が、分布⇒発生交通量モデルの構造であることを踏まえ、分布交通量モデルから整理する。

1) 分布交通量モデルの推定結果

表 8.5 に分布交通量予測モデルの推定結果を示す。上述のとおり、4 パターンのモデル推定を実施している。モデル 2 とモデル 4 は \tilde{T} を含めたモデルであるが、 \tilde{T} を外生的に与えて推定しているため種類が多くなっており、枝番の・01、・02 が \tilde{T} の数値（分）を表している。

まず、 \tilde{T} を含まないモデル 1 とモデル 3 を比較すると、尤度比が目的地施設のポテンシャルを導入したモデル 3 の方が高く、かつ各パラメータの t 値も有意水準で高い結果が得られた。すなわち、目的地選択モデルに施設情報を組み込むことが有効と言える。また、集積パラメータ a は 0.2961 であり、 $0 < a < 1$ の範囲にある。つまり、目的地選択において、多種の施設が集積している地域に魅力を感じていると言える。

\tilde{T} を変更したモデル 2 とモデル 4 を見ると、 \tilde{T} を1分、2分・・・と大きくしていくにつれて、尤度比が小さくなっている。これは、 \tilde{T} 以下の所要時間の違いに対して利用者が反応しない構造を仮定しているため、モデルがデータから得る

表8.5 誘発交通量予測モデル（分布交通量モデル）の推定結果

モデル No	パラメータ							サンプル 数	尤度比
	(θ)		(γ̂)	(λ)		(a)			
	期待最小費用		チルダ (分)	目的施設ポテンシャル		集積パラメータ (売場面積：100㎡)			
1	-0.0026	(26.31) **	0	-	-	-	-	350	0.593
2-01	-0.0026	(26.28) **	1	-	-	-	-	350	0.593
2-02	-0.0026	(25.79) **	2	-	-	-	-	350	0.591
2-03	-0.0027	(25.30) **	3	-	-	-	-	350	0.588
2-04	-0.0028	(24.80) **	4	-	-	-	-	350	0.586
2-05	-0.0028	(24.31) **	5	-	-	-	-	350	0.582
2-06	-0.0029	(23.81) **	6	-	-	-	-	350	0.579
2-07	-0.0029	(23.32) **	7	-	-	-	-	350	0.574
2-08	-0.0030	(22.80) **	8	-	-	-	-	350	0.570
2-09	-0.0030	(22.30) **	9	-	-	-	-	350	0.564
2-10	-0.0030	(21.83) **	10	-	-	-	-	350	0.558
2-11	-0.0031	(21.39) **	11	-	-	-	-	350	0.553
2-12	-0.0031	(20.95) **	12	-	-	-	-	350	0.546
2-13	-0.0032	(20.50) **	13	-	-	-	-	350	0.540
2-14	-0.0032	(20.06) **	14	-	-	-	-	350	0.534
2-15	-0.0032	(19.64) **	15	-	-	-	-	350	0.527
2-16	-0.0033	(19.24) **	16	-	-	-	-	350	0.520
2-17	-0.0033	(18.84) **	17	-	-	-	-	350	0.514
2-18	-0.0033	(18.44) **	18	-	-	-	-	350	0.507
2-19	-0.0034	(18.05) **	19	-	-	-	-	350	0.500
2-20	-0.0034	(17.67) **	20	-	-	-	-	350	0.493
3	-0.0025	(25.30) **	0	2355.5	(3.64) **	0.2961	(5.17) **	350	0.617
4-01	-0.0025	(25.28) **	1	2348.1	(3.64) **	0.2966	(5.18) **	350	0.616
4-02	-0.0025	(24.82) **	2	2284.2	(3.68) **	0.2977	(5.23) **	350	0.615
4-03	-0.0026	(24.37) **	3	2223.6	(3.72) **	0.2990	(5.29) **	350	0.613
4-04	-0.0026	(23.90) **	4	2167.5	(3.77) **	0.3004	(5.36) **	350	0.610
4-05	-0.0027	(23.45) **	5	2117.7	(3.82) **	0.3017	(5.43) **	350	0.608
4-06	-0.0027	(22.99) **	6	2076.2	(3.87) **	0.3029	(5.50) **	350	0.604
4-07	-0.0028	(22.54) **	7	2036.7	(3.94) **	0.3044	(5.59) **	350	0.601
4-08	-0.0028	(22.08) **	8	1991.4	(4.01) **	0.3066	(5.69) **	350	0.597
4-09	-0.0029	(21.64) **	9	1954.0	(4.08) **	0.3088	(5.80) **	350	0.592
4-10	-0.0029	(21.23) **	10	1922.1	(4.16) **	0.3107	(5.91) **	350	0.587
4-11	-0.0030	(20.84) **	11	1895.4	(4.23) **	0.3124	(6.01) **	350	0.582
4-12	-0.0030	(20.45) **	12	1876.4	(4.30) **	0.3136	(6.11) **	350	0.576
4-13	-0.0030	(20.05) **	13	1858.9	(4.37) **	0.3143	(6.20) **	350	0.571
4-14	-0.0031	(19.65) **	14	1839.4	(4.44) **	0.3151	(6.29) **	350	0.566
4-15	-0.0031	(19.26) **	15	1824.1	(4.50) **	0.3155	(6.37) **	350	0.560
4-16	-0.0032	(18.89) **	16	1807.8	(4.56) **	0.3158	(6.44) **	350	0.554
4-17	-0.0032	(18.53) **	17	1794.3	(4.61) **	0.3159	(6.50) **	350	0.548
4-18	-0.0032	(18.18) **	18	1781.8	(4.67) **	0.3159	(6.57) **	350	0.542
4-19	-0.0033	(17.83) **	19	1768.7	(4.72) **	0.3160	(6.64) **	350	0.536
4-20	-0.0033	(17.49) **	20	1751.3	(4.77) **	0.3162	(6.70) **	350	0.529

()は値、**：1%有意、*：5%有意

情報量が少なくなっているためと考えられる。ただし、全モデルとも尤度比、各パラメータ t 値とも高い水準にあるため、 \tilde{T} について、どの程度が適切かに関しては、発生交通量モデルの推定結果と合わせて判断する。

2) 発生交通量モデルの推定結果

表 8.6 に発生交通量予測モデルの推定結果を示す。分布交通量モデルと同様、4 パターンのモデルをそれぞれ推定した。各モデルの重相関係数は、図 8.3 に示す。目的地施設のポテンシャルを導入したモデル 3, 4 と、導入していないモデル 1, 2 を比較すると、僅かではあるが導入していないモデル 1, 2 の方が、全体的に重相関係数が高くなっている。また、 \tilde{T} に関しては、 \tilde{T} が 11 分のとき、

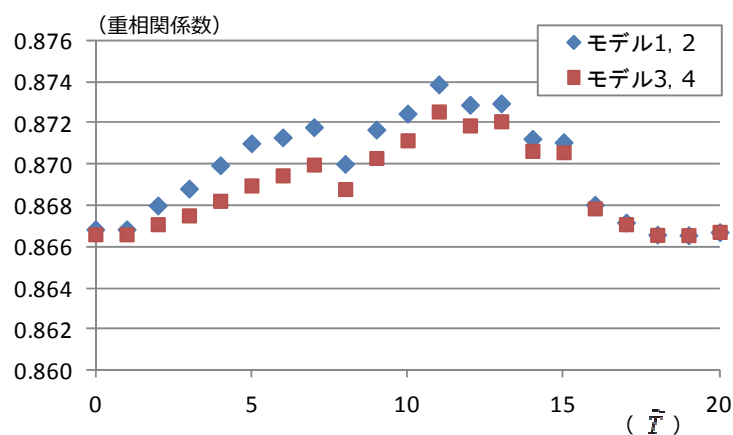


図8.3 モデル1～4の重相関係数の比較

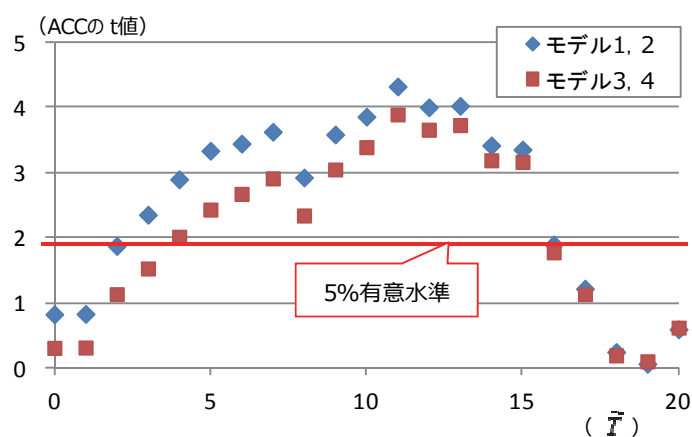


図8.4 モデル1～4のアクセシビリティの t 値の比較

表8.6 誘発交通量予測モデル（発生交通量モデル）の推定結果

モデル No	(c) 定数項		パラメータ (a) 居住人口 (人)		(β) ACC		サンプル 数	重相関 係数
1	126.57	(1.33)	0.0882	(27.10) **	159.6	(0.83)	350	0.867
2-01	126.29	(1.33)	0.0882	(27.09) **	160.7	(0.83)	350	0.867
2-02	22.05	(0.20)	0.0862	(26.02) **	416.9	(1.88)	350	0.868
2-03	-10.28	(0.10)	0.0853	(25.74) **	538.3	(2.36) *	350	0.869
2-04	-37.50	(0.37)	0.0844	(25.69) **	655.2	(2.90) **	350	0.870
2-05	-54.79	(0.56)	0.0838	(25.94) **	742.2	(3.34) **	350	0.871
2-06	-39.60	(0.43)	0.0846	(27.47) **	671.3	(3.45) **	350	0.871
2-07	-27.65	(0.32)	0.0844	(27.43) **	666.0	(3.63) **	350	0.872
2-08	27.00	(0.32)	0.0856	(27.91) **	485.8	(2.93) **	350	0.870
2-09	3.45	(0.04)	0.0855	(28.93) **	519.5	(3.59) **	350	0.872
2-10	-14.68	(0.18)	0.0862	(30.23) **	475.0	(3.86) **	350	0.872
2-11	-30.35	(0.37)	0.0860	(30.43) **	482.6	(4.32) **	350	0.874
2-12	-15.70	(0.19)	0.0855	(29.56) **	423.3	(4.00) **	350	0.873
2-13	-25.23	(0.30)	0.0858	(29.93) **	388.8	(4.03) **	350	0.873
2-14	-21.32	(0.24)	0.0866	(30.25) **	323.3	(3.42) **	350	0.871
2-15	-20.20	(0.23)	0.0864	(29.93) **	302.2	(3.36) **	350	0.871
2-16	44.27	(0.45)	0.0876	(29.73) **	176.7	(1.90)	350	0.868
2-17	89.66	(0.89)	0.0882	(29.59) **	109.5	(1.22)	350	0.867
2-18	161.61	(1.51)	0.0893	(29.92) **	21.8	(0.25)	350	0.867
2-19	188.65	(1.71)	0.0897	(29.89) **	-5.8	(0.07)	350	0.867
2-20	239.64	(2.06) *	0.0903	(30.20) **	-49.5	(0.60)	350	0.867
3	159.57	(1.61)	0.0891	(27.53) **	57.2	(0.31)	350	0.867
4-01	159.34	(1.61)	0.0891	(27.52) **	57.9	(0.32)	350	0.867
4-02	79.99	(0.71)	0.0876	(26.55) **	238.1	(1.14)	350	0.867
4-03	49.00	(0.45)	0.0868	(26.24) **	331.4	(1.53)	350	0.868
4-04	16.36	(0.15)	0.0860	(26.07) **	438.1	(2.02) *	350	0.868
4-05	-8.03	(0.08)	0.0853	(26.16) **	527.0	(2.44) *	350	0.869
4-06	-9.35	(0.10)	0.0856	(27.36) **	519.8	(2.68) **	350	0.869
4-07	-7.96	(0.09)	0.0852	(27.25) **	540.7	(2.91) **	350	0.870
4-08	42.65	(0.48)	0.0862	(27.75) **	395.1	(2.34) *	350	0.869
4-09	12.10	(0.14)	0.0859	(28.66) **	453.7	(3.05) **	350	0.870
4-10	-6.72	(0.08)	0.0864	(29.94) **	430.0	(3.39) **	350	0.871
4-11	-25.86	(0.31)	0.0861	(30.13) **	449.6	(3.89) **	350	0.873
4-12	-11.88	(0.14)	0.0857	(29.35) **	399.1	(3.66) **	350	0.872
4-13	-20.96	(0.25)	0.0859	(29.73) **	371.3	(3.73) **	350	0.872
4-14	-13.56	(0.15)	0.0867	(30.11) **	307.9	(3.19) **	350	0.871
4-15	-13.09	(0.14)	0.0865	(29.80) **	290.5	(3.17) **	350	0.871
4-16	53.16	(0.54)	0.0877	(29.70) **	166.2	(1.78)	350	0.868
4-17	96.70	(0.96)	0.0883	(29.58) **	102.1	(1.14)	350	0.867
4-18	166.08	(1.56)	0.0894	(29.92) **	17.4	(0.20)	350	0.867
4-19	191.89	(1.76)	0.0897	(29.89) **	-9.0	(0.11)	350	0.867
4-20	241.10	(2.09) *	0.0903	(30.20) **	-51.5	(0.62)	350	0.867

()はt値、**：1%有意、*：5%有意

モデル2とモデル4ともに、最も重相関係数が高い値となっている。図8.4はアクセシビリティの t 値を表しているが、 \tilde{T} が概ね4分～15分のときが5%有意の水準となっている。以上より、発生交通量モデルでは、 \tilde{T} が11分のときが最も精度が高いと言える。

3) 誘発交通量予測モデルの推定結果のまとめ

上述を踏まえ、本研究の誘発交通量モデルの推定結果についてまとめる。表8.7にモデル1～4を整理した結果を示す。モデル2, 4には \tilde{T} が11分のケースを採用している。発生交通量モデルについては、アクセシビリティのパラメータと t 値から、時間バッファ \tilde{T} を適用したモデル2とモデル4の当てはまりが良いと言える。分布交通量モデルについては、目的施設のポテンシャルを導入したモデル3とモデル4の当てはまりが良いと言える。以上から総合的に判断すると、誘発交通量予測モデル推定結果としては、時間バッファ \tilde{T} と、目的施設ポテンシャルおよび集積の効果を導入したモデル4が最も有効と言える。

表8.7 誘発交通量予測モデルの推定結果まとめ

	説明変数	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
発生	定数項	126.57 (1.33)	-30.35 (0.37)	159.57 (1.61)	-25.86 (0.31)
	居住人口 (人)	0.0882 (27.1)**	0.0860 (30.43)**	0.0891 (27.53)**	0.0861 (30.13)**
	A C C	159.6 (0.83)	482.6 (4.32)**	57.2 (0.31)	449.6 (3.89)**
	サンプル数	350	350	350	350
	重相関係数	0.867	0.874	0.867	0.873
分布	期待最小費用(θ)	-0.0026 (26.31)**	-0.0031 (21.39)**	-0.0025 (25.3)**	-0.0030 (20.84)**
	時間バッファ (\tilde{T})	-	11	-	11
	目的施設ポテンシャル (λ)	-	-	2355.5 (3.64)**	1895.4 (4.23)**
	集積パラメータ (a)	-	-	0.2961 (5.17)**	0.3124 (6.01)**
	時間価値 (ω)	50円/分			
	サンプル数	350	350	350	350
	尤度比	0.593	0.553	0.617	0.582

()は t 値、** : 1%有意、* : 5%有意

8.3 目的施設の集積の多様性を考慮した動的な道路事業評価

本節では、前節の誘発交通量予測モデルの推定結果を踏まえて、引き続き広島県地域の道路ネットワークを対象に、道路事業評価に関わる実証分析を行う。具体的には、広島県地域における近年の道路整備事業について、実際の整備順序に伴う便益評価と、本研究での提案モデルにより算出される整備順序および便益評価を比較し、提案モデルの実務適用への有効性を確認する。

8.3.1 実証分析の概要

(1) 分析シナリオの概要

広島県地域では、平成17年から平成26年度末までの10年間で、中国横断自動車道尾道松江線や東広島呉道路といった高規格幹線道路や、広島都市高速道路や東広島バイパスといった地域高規格道路など、主要な幹線道路が多く整備されている。そこでそれらの整備路線を対象に、表8.8に示す実証分析を行う。シナリオ8-1は、実際の整備順序にしたがって動的な便益計測を行うものであ

表8.8 実証分析のシナリオ概要

項目		シナリオ8-1	シナリオ8-2	シナリオ8-3
シナリオ名		実整備順序	提案モデル順序	買物誘発考慮
①	対象地域	広島県地域		
②	対象道路事業	4路線，22区間		
③	適用	無し*1	式(3.1)～(3.5)	
	評価モデル(目的変数)			
	モデル	交通需要予測モデル	式(3.7)～式(3.11)，式(3.13)～式(3.17)	
		(分布モデルの効用関数)	前節の式(8.4)*2	
			モデル1	モデル4
	便益計測モデル	式(3.18)～式(3.19)		
	プロジェクトの設定と事業費	無し*3	式(3.20)～式(3.21)	
④	評価項目	整備順序	実際の順序	モデル順序 および総純便益
		総純便益	実際の順序に従って 上記モデル式(交通 需要予測，便益計 測)で計測	

*1: 実際の整備順序に従うため、整備順序を算出する評価モデルは適用しない。

*2: モデル1: $TC_{ij} = (T_{ij} \cdot \omega + C_{ij})$

モデル4: $TC_{ij}^t = (\max(T_{ij}^t - \tilde{T}, 0) \cdot \omega + C_{ij}^t) + \lambda \left(\sum_k (S_{jk}^t)^a \right)^{-a}$

*3: 実際の整備順序に従って、年次別投資額を逆算して設定

り、本実証分析の基準となるシナリオである。シナリオ 8-2 は、提案モデルを適用して、対象道路事業の総純便益が最大となる整備順序および NPV を計測するものであり、本提案モデルの実務適用の有効性を確認するものである。また、シナリオ 8-3 は、前節で推定した誘発交通量モデルを適用したケースであり、シナリオ 8-2 との比較により、追加的に誘発交通量を考慮することによる影響を確認するものである。

(2) 分析対象道路事業の概要

前述のとおり、広島県地域においては、平成 17 年～平成 26 年度末までの 10 年間で主要な道路事業が多く供用している。具体的には表 8.9 に示す 4 路線 22

表8.9 分析対象とする道路事業一覧

路線名		No	区間	延長 (km)	事業費*1 (億円)	(参考) 供用年月
1) 広島高速道路	1号線	No.1	馬木IC～広島東IC	2.3	125	H18.10
	2号線	No.2	全線(間所IC～仁保IC)	5.9	1,025	H22.4
	3号線	No.3	宇品IC～吉島IC	2.2	425	H22.4
		No.4	吉島IC～観音IC	2.9	550	H26.3
		No.5	観音IC～商工IC	1.3	250	H26.3
2) 東広島バイパス		No.6	海田東～中野	2.7	325	H18.3
		No.7	中野～瀬野西	4.4	525	H26.3
3) 東広島呉道路		No.8	高屋～上三永	4.4	250	H22.3
		No.9	上三永～下三永	4.3	250	H19.11
		No.10	下三永～馬木	3.0	175	H19.11
		No.11	馬木～黒瀬	8.8	500	H27.3
		No.12	黒瀬～郷原	3.6	200	H24.4
		No.13	郷原～阿賀	8.7	500	H24.4
4) 中国横断 自動車道 尾道松江線	松江道	No.14	三刀屋～掛合	12.3	325	H24.3
		No.15	掛合～高野	22.9	625	H25.3
		No.16	高野～口和	12.5	350	H25.3
		No.17	口和～三次JCT	13.3	375	H25.3
	尾道道	No.18	三次JCT～吉舎	10.3	300	H26.3
		No.19	吉舎～甲奴	8.1	225	H27.3
		No.20	甲奴～世羅	12.3	350	H27.3
		No.21	世羅～尾道北	12.2	350	H22.11
		No.22	尾道北～尾道JCT	7.0	200	H22.11
	合計			165.4	8,200	

*1：事業費は、各路線の事業再評価資料より、各路線の全事業費を区間延長により按分して設定。

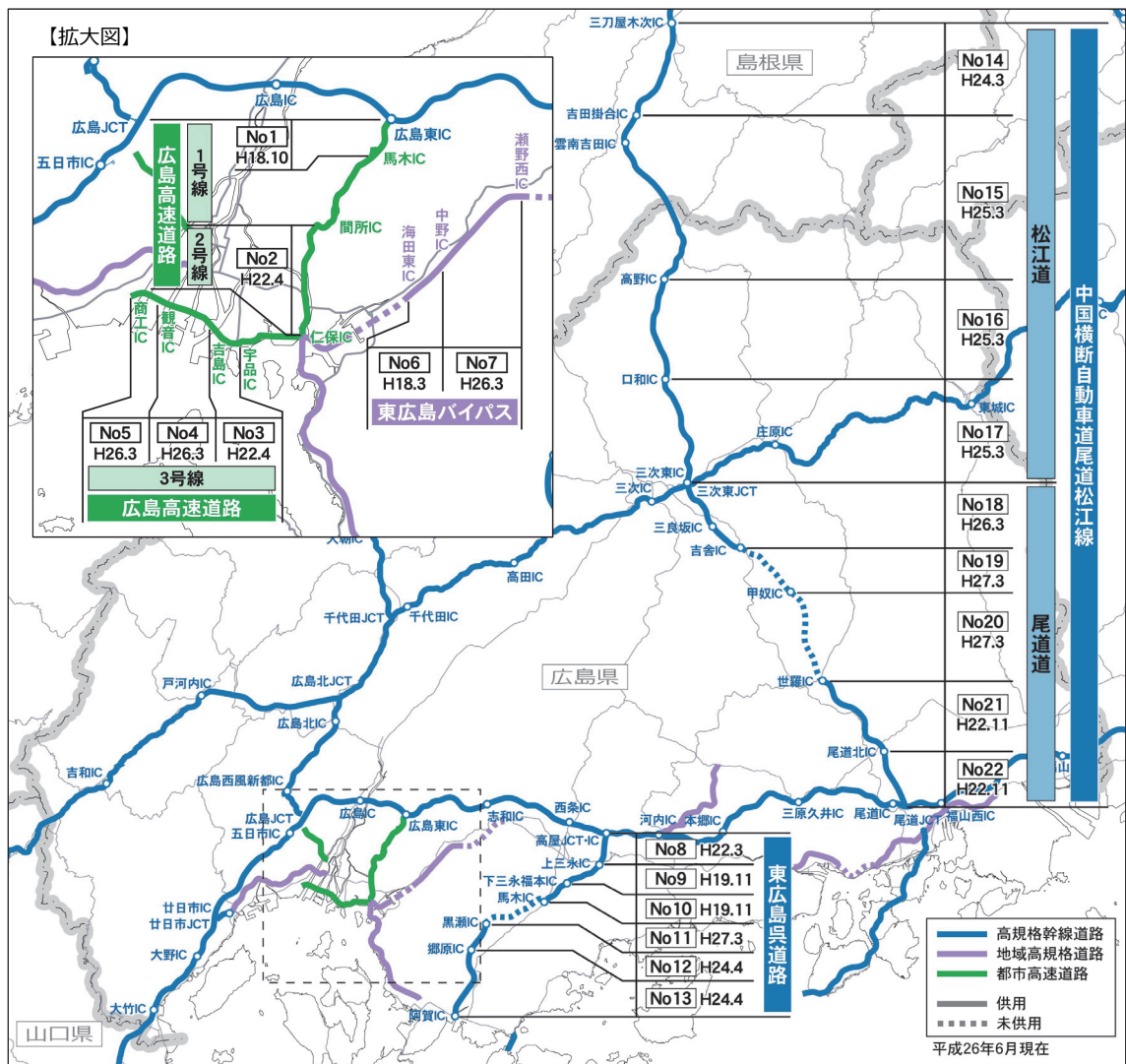


図8.5 分析対象道路事業の位置図

区間が供用あるいは供用予定であり、総延長 165km、総事業費は約 8,200 億円となる。なお、これらの路線以外にも、国道 2 号廿日市高架や三原バイパス等の供用があるが、いずれも単区間供用のため、分析対象からは除いている。

8.3.2 実証分析の結果

(1) 整備順序結果

シナリオ分析の整備順序結果を表 8.10、および図 8.6 に示す。シナリオ 8-1

は実際の整備順序である。これに対して、提案モデルによって総純便益を最大化したときの整備順序がシナリオ 8-2 とシナリオ 8-3 である。シナリオ 8-3 はシナリオ 8-2 に対して、買物交通の誘発交通量を考慮したケースだが、得られた整備順序は同じであった。これは買物交通が全体の約 9%程度のため、全体の整備順序を変えるほどの影響が無かったためと考えられる。

シナリオ 8-1 とシナリオ 8-2 を比較すると、各路線の整備順序について違いが生じている。広島都市高速道路については、シナリオ 8-1 では 2 号線、3 号線の順に順次整備しているが、シナリオ 8-2 では 3 号線の No.5 を先行整備している。No.5 周辺は広島市内でも有数の渋滞箇所であり、便益が高いためと考えられる。東広島バイパスについては、シナリオ 8-1 では No.6 を先行整備しているが、シナリオ 8-2 では H26 年以降の後半期の整備となっている。No.6 は他の地域高規格道路と連続していない単独区間のため、No.7 と同時期に整備してネットワーク効果を得る整備順序になっていると考えられる。東広島呉道路については、シナリオ 8-1 では山陽自動車道から分岐する No.8～10 を先行整備した後で、呉地域の No.12,13 を整備して、中間の No.11 を整備する順序となっているが、

表8.10 シナリオ8-1～8-3の整備順序結果

供用年	シナリオ8-1		シナリオ8-2		シナリオ8-3	
	事業区間	路線名(略称)	事業区間	路線名(略称)	事業区間	路線名(略称)
H18	No.1	1号線	No.1	1号線	No.1	1号線
	No.6	東広島BP				
H19	No.9-10	東呉	No.5	3号線	No.5	3号線
			No.12-13	東呉	No.12-13	東呉
H21			No.2	2号線	No.2	2号線
H22	No.2	2号線	No.3	3号線	No.3	3号線
	No.3	3号線				
	No.8	東呉				
	No.21-22	尾道道				
H24	No.12-13	東呉	No.11	東呉	No.11	東呉
	No.14	松江道	No.14	松江道	No.14	松江道
H25	No.15-17	松江道	No.8-10	東呉	No.8-10	東呉
			No.15-17	松江道	No.15-17	松江道
H26	No.4-5	3号線	No.6	東広島BP	No.6	東広島BP
	No.7	東広島BP	No.18-19	尾道道	No.18-19	尾道道
	No.18	尾道道				
H27	No.11	東呉	No.4	3号線	No.4	3号線
	No.19-20	尾道道	No.7	東広島BP	No.7	東広島BP
			No.20	尾道道	No.20	尾道道

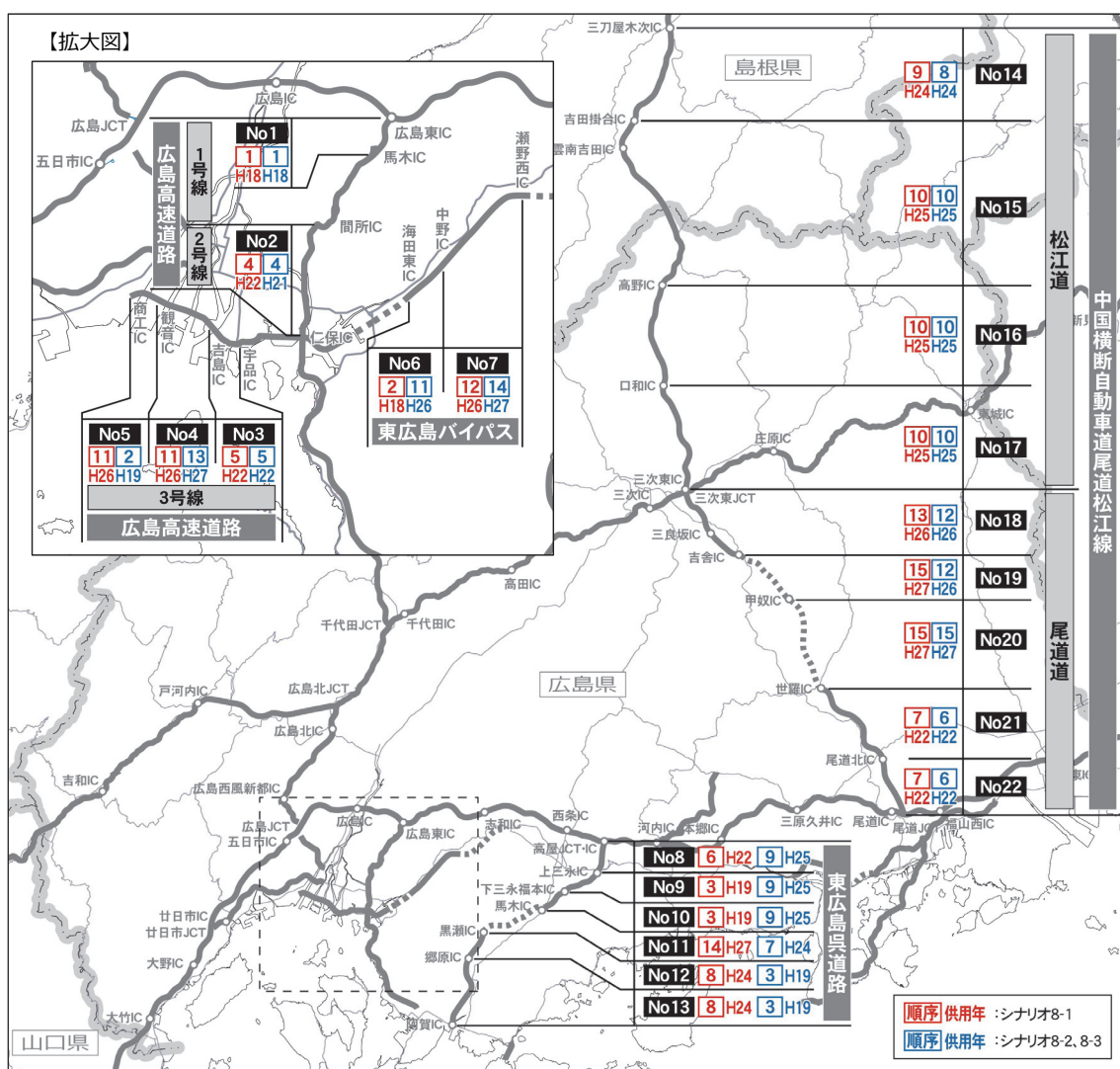


図8.6 シナリオ8-1～8-3の整備順序結果

シナリオ 8-2 は前半が逆の順序であり、呉地域が先行整備される。これは利用交通量が多い呉地域の区間を先行することで便益発現を高めていると考えられる。中国横断自動車道尾道松江線については、両シナリオともほぼ同様の整備順序となっている。

以上のように、シナリオ 8-2 の整備順序結果は、地域の混雑状況や利用交通量、およびネットワーク状況等を踏まえた、説明のできる整備順序結果になっていると言え、提案モデルの有効性が示されたと言える。

(2) 年便益と総純便益(NPV)結果

各シナリオの年便益の推移を図 8.7 に示す。シナリオ 8-1 に対し、シナリオ 8-2, 8-3 は供用年ごとに便益が大きく増加している。特に平成 19 年～平成 27 年の中間期間は、実整備順序と比較して有意に高い便益で推移している。また、図 8.8 および表 8.11 に総純便益の推移を示す。シナリオ 8-2, 8-3 はシナリオ 8-1 に対し、6～7 年早く累積純便益がプラスに転じており、費用便益比(B/C)で比較すると、シナリオ 8-1 が 1.05 に対し、シナリオ 8-2, 8-3 は 1.13～1.15 と 10 ポイント程度高くなっている。

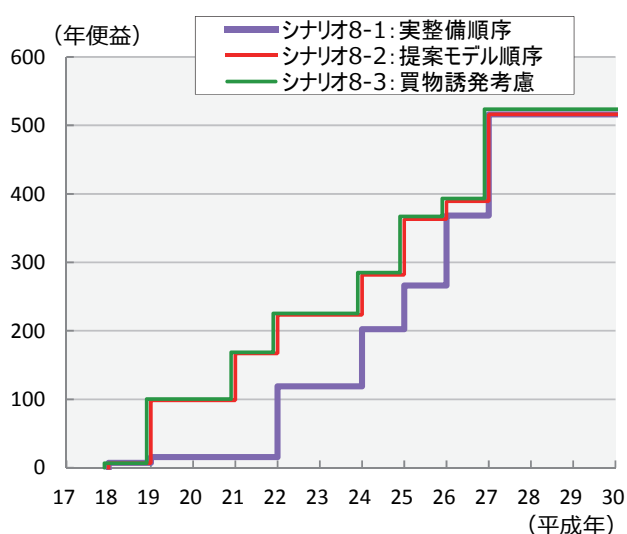


図8.7 シナリオ8-1～8-3の年便益の推移

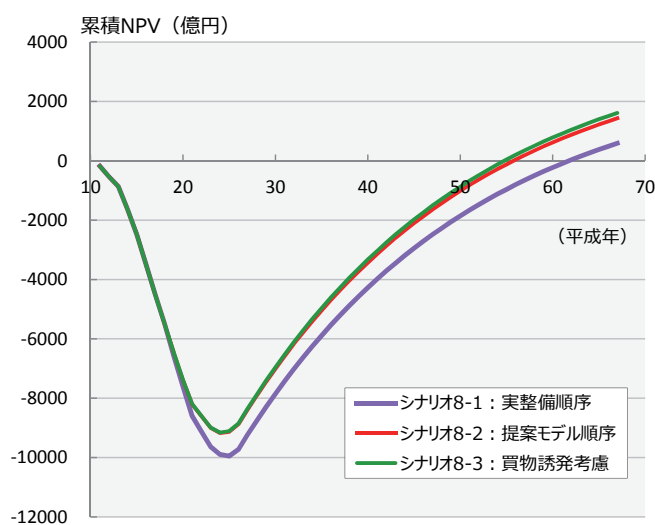


図8.8 シナリオ8-1～8-3の総純便益(NPV)の累積推移

表8.11 シナリオ8-1～8-3の総純便益(NPV)の推移

(億円)

平成 基準年 :H26	シナリオ8-1：実整備順序			シナリオ8-2：提案モデル順序			シナリオ8-3：買物誘発考慮		
	便益(B) (現在価値)	コスト(C) (現在価値)	(B-C)累積 (NPV) (現在価値)	便益(B) (現在価値)	コスト(C) (現在価値)	(B-C)累積 (NPV) (現在価値)	便益(B) (現在価値)	コスト(C) (現在価値)	(B-C)累積 (NPV) (現在価値)
11		179.3	-179		179.3	-179		179.3	-179
12		349.9	-529		349.9	-529		349.9	-529
13		336.4	-866		336.4	-866		336.4	-866
14		765.1	-1,631		765.1	-1,631		765.1	-1,631
15		855.4	-2,486		855.4	-2,486		855.4	-2,486
16		1002.6	-3,489		1002.6	-3,489		1002.6	-3,489
17		1030.2	-4,519		1030.2	-4,519		1030.2	-4,519
18	9.8	974.0	-5,483	9.0	974.0	-5,484	9.0	974.0	-5,484
19	20.7	1099.9	-6,562	129.6	1099.9	-6,454	132.2	1099.9	-6,452
20	19.9	1057.6	-7,600	124.6	1057.6	-7,387	127.1	1057.6	-7,382
21	19.1	1016.9	-8,598	202.9	1016.9	-8,201	205.1	1016.9	-8,194
22	139.3	666.6	-9,125	261.2	666.6	-8,607	263.8	666.6	-8,597
23	133.9	640.9	-9,632	251.2	640.9	-8,997	253.7	640.9	-8,984
24	218.9	481.9	-9,895	304.8	481.9	-9,174	308.2	481.9	-9,158
25	277.0	335.8	-9,954	377.7	335.8	-9,132	381.8	335.8	-9,112
26	368.1	134.4	-9,720	389.1	134.4	-8,877	393.0	134.4	-8,853
27	496.1		-9,224	496.1		-8,381	503.5		-8,350
28	477.0		-8,747	477.0		-7,904	484.2		-7,865
29	458.7		-8,289	458.7		-7,445	465.5		-7,400
30	441.0		-7,848	441.0		-7,004	447.6		-6,952
31	424.1		-7,424	424.1		-6,580	430.4		-6,522
32	407.7		-7,016	407.7		-6,172	413.9		-6,108
33	392.1		-6,624	392.1		-5,780	397.9		-5,710
34	377.0		-6,247	377.0		-5,403	382.6		-5,327
35	362.5		-5,884	362.5		-5,041	367.9		-4,959
36	348.5		-5,536	348.5		-4,692	353.8		-4,606
37	335.1		-5,201	335.1		-4,357	340.2		-4,266
38	322.2		-4,878	322.2		-4,035	327.1		-3,938
39	309.9		-4,568	309.9		-3,725	314.5		-3,624
40	297.9		-4,271	297.9		-3,427	302.4		-3,322
41	286.5		-3,984	286.5		-3,141	290.8		-3,031
42	275.5		-3,709	275.5		-2,865	279.6		-2,751
43	264.9		-3,444	264.9		-2,600	268.8		-2,482
44	254.7		-3,189	254.7		-2,346	258.5		-2,224
45	244.9		-2,944	244.9		-2,101	248.6		-1,975
46	235.5		-2,709	235.5		-1,865	239.0		-1,736
47	226.4		-2,482	226.4		-1,639	229.8		-1,507
48	217.7		-2,265	217.7		-1,421	221.0		-1,286
49	209.3		-2,055	209.3		-1,212	212.5		-1,073
50	201.3		-1,854	201.3		-1,011	204.3		-869
51	193.5		-1,660	193.5		-817	196.4		-672
52	186.1		-1,474	186.1		-631	188.9		-483
53	178.9		-1,295	178.9		-452	181.6		-302
54	172.1		-1,123	172.1		-280	174.6		-127
55	165.4		-958	165.4		-115	167.9		41
56	159.1		-799	159.1		44	161.5		202
57	153.0		-646	153.0		197	155.2		357
58	147.1		-499	147.1		344	149.3		507
59	141.4		-357	141.4		486	143.5		650
60	136.0		-221	136.0		622	138.0		788
61	130.7		-91	130.7		753	132.7		921
62	125.7		35	125.7		878	127.6		1,049
63	120.9		156	120.9		999	122.7		1,171
64	116.2		272	116.2		1,115	118.0		1,289
65	111.8		384	111.8		1,227	113.4		1,403
66	107.5		491	107.5		1,335	109.1		1,512
67	103.3		595	103.3		1,438	104.9		1,617
合計	11522	10927.1	-	12365	10927.1	-	12544	10927.1	-
	B/C=		1.05	B/C=		1.13	B/C=		1.15

8.4 まとめ

本章では、目的施設の集積の多様性を考慮した動的評価として、まず、8.1 および 8.2 において、多様な集積を考慮した誘発交通量予測モデルを推定した。本モデルでは、目的地選択モデルの効用関数に、1) 出発地周辺において、所要時間に起因する不効用が起らないエリアが存在することを表現する時間バッファ \tilde{T} の導入と、2) 目的地施設の集積の効果を表現した $\lambda \left(\sum_k (S'_{jk})^a \right)^a$ の導入を提案した。広島県地域の実績データを適用して目的地選択モデルを推定したところ、時間バッファと集積の効果ともに、良好なパラメータを得た。これにより、便益を計測した買物交通に関しては、道路整備に伴う時間短縮による直接的な OD 交通量の変化のほか、道路整備に伴う時間バッファの空間的な広がりによるエリア内の商業施設への OD 交通量の増加、あるいは目的地の商業施設整備などの要因を考慮して、OD 交通量の変化の予測が可能となった。

8.3 では、推定したモデル式を適用して、広島県地域の実際の道路整備事業を対象に、動的評価の実証分析を行った。具体的には、実際の整備順序に従って便益計測を行ったシナリオ 8-1 と、提案モデルにより算出した整備順序、便益計測結果のシナリオ 8-2、8-3 を比較し、以下の i)～iii) の成果を得た。

- i) 提案モデルにより算出した整備順序は、地域の混雑状況や利用交通量、ネットワーク状況を踏まえた結果となっており、本モデルの有効性が確認された。
- ii) 提案モデルにより算出した整備順序の総純便益は、実際の整備順序によって発生する総純便益よりも大きく、複数の道路事業を対象とした動的評価方法として有効であることが示された。
- iii) 提案した誘発交通量予測モデルを適用したシナリオ 8-3 では、それを適用しなかったシナリオ 8-2 に比べて、僅かではあるが総純便益が高まっていた。つまり、誘発交通量の予測手法として提案モデルが有効なこと、および誘発交通量を便益計測することによる従来法との評価値の差を実証データに基づいて示すことができた。

第8章の参考文献

- 1) 森川高行, 佐々木邦明, 東力也: 観光系道路網整備評価のための休日周遊行動モデル分析, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.539-547, 1995.
- 2) 佐藤泰裕, 田淵隆俊, 山本和博: 空間経済学, 有斐閣, 2011.
- 3) 石倉智樹: 人口減少に伴う都市の縮退と集積に関する基礎的定量分析, 都市計画論文集, Vol.47, No.1, 2012.
- 4) 森地茂, 目黒浩一郎, 小川圭一: 一般化平均概念を用いた交通情報提供の影響分析手法に関する研究, 土木学会論文集, No.555/IV-34, pp.15-26, 1997.

第9章 結論

本研究では、実務で適用されている道路事業評価手法の限界に関する指摘を踏まえて、整備順序に着目した動的な道路事業評価モデルを提案した。さらに設定条件の違いを明らかにするために、数値シミュレーションによる比較が容易な仮想的な道路ネットワーク上で設定した事業に対して、提案モデルの有効性を確認した。また、実際の道路ネットワークにも提案モデルを適用してOD交通量予測や便益計測等を行い、実務上の有効性を確認した。本章では、各章の分析から得られた知見をまとめるとともに、今後の課題を示す。

9.1 本研究の成果

第1章と第2章では、実務で適用されている道路事業評価手法について、現行の事業評価制度、費用便益分析マニュアルの計測方法をレビューし、現行の道路事業評価手法に関する指摘・課題を整理した。さらに、道路事業評価に関わる研究分野での既往研究をレビューした。それらを踏まえて、本研究における分析課題を、対象の道路ネットワーク上で実施される複数の候補事業は相互に便益評価値に影響するという1)ネットワーク外部性、2)道路事業以外の施設整備の影響、3)事業区間の設定、4)リンク交通量の配分手法に均衡配分法を適用すること、5)予算制約・整備目標への対応、および6)誘発交通の考慮、の6項目として抽出するとともに、各項目についての検討方針を整理した。

第3章では、提案モデルの定式化を行った。まず6項目の分析課題と提案モデルの対応を整理して、本研究において考慮すべき課題を明確にした。その結果、交通需要予測方法に関する課題、評価対象事業の設定方法、整備順序の評価指標の設定と制約条件、のように多岐にわたる課題が存在することが明らかとなった。そこで提案モデルの構成を、1)目的関数と制約条件、2)制約条件に関する交通需要予測サブモデル、3)目的関数の便益に関する便益計測サブモデル、および、4)目的関数の費用に関する事業費算定サブモデル、の4モデルとした。また、提案モデルは、整数制約を含む動的な組み合わせ最適化問題となるため、解析方法として遺伝的アルゴリズム（GA）を採用した。

第4章から第6章では、仮想的な道路ネットワークを設定のもとで提案モデルを適用して、各種課題への有効性を検証した。

第4章では、提案モデルによる数値シミュレーションを通じて、ネットワーク外部性を考慮することの必要性を検証した。具体的には、従来、実務で採用されている個別事業の便益による整備順序と、提案モデルの評価対象期間内に発

生する道路ネットワーク全体の便益を現在価値化したNPVの最大化による整備順序を比較したところ、後者は周辺道路ネットワークの段階的な整備状況を反映した整備順序となっていた。また提案モデルの方が、評価期間として設定した50年間のNPVが高く、従来モデルよりも提案モデルがより高い便益を発生させられる整備順序を提案できるという意味で有効性が検証された。つまり地域道路ネットワーク計画では、複数事業を対象に、どの事業を採択するか、どの事業から順番に整備していくか、という分析・検討を行うため、提案モデルによる動的な道路事業評価モデルが有効と考えられる。整備順序に着目すると、従来の静的評価と提案した動的評価では大きく異なっていた。前者は単独での便益の大きい大規模事業を優先する一方で、後者は便益が多少小さくても早期に効果発現する事業を優先しつつ、最終的な累積便益が最大になる順序が得られた。この結果は、従来手法である静的評価の限界を明確に示している。

第5章では、提案モデルによる数値シミュレーションを通じて、道路事業と合わせて施設整備事業を考慮することの重要性について検証した。具体的には、提案モデルにおいて、道路事業のみを採択候補としたケースと、道路事業と施設整備事業を合わせて採択候補としたケースについて、NPVを比較したところ、施設整備事業を考慮したケースの方が、NPVが高かった。また整備順序についても、施設配置と道路事業のネットワーク上の位置関係を踏まえた、相乗効果を発揮できる順序が得られており、提案モデルの有効性が確認された。すなわち従来、道路は施設間をネットワークする機能を有するにも関わらず、施設整備と道路整備を同一の俎上に載せた検討が行われることは、ほとんど無かった。今後、公共事業投資を効率的・効果的に実行する上では、これまでの縦断的な道路だけの計画ではなく、公共主体がある程度関与しつつ行う施設整備を含めた横断的な計画の必要性を示していると考えられる。さらに、本章の数値シミュレーションにおいて、予算制約とアウトカム目標といった制約条件を付与したところ、各時点の予算内かつ最終年次のアウトカム目標を満たす整備順序が得られた。すなわち、提案モデルでは、実務において要求される様々な制約条件を、柔軟に反映した演算が可能ことが確認された。

第6章では、採択候補となる事業集合を工夫することによって、事業区間をモデル内で決定するメカニズムを有するモデルを提案して、数値シミュレーションによって事業区間内生化の有効性を検証した。従来の事業評価では、外生的に与えられた事業区間に対して評価を行うが、例えば高規格幹線道路などは、事業区間の内生化、つまり、どのIC間を事業区間にするかによって、事業の便益が増すとともに、費用が削減される、供用までの期間が変化するなどの影響があらわれるため、NPVが異なる可能性がある。本章では事業区間を内生化したケースと、従来のように外生的に与えたケースの数値シミュレーションを行

い比較した。内生化したケースは、複数区間を統合した区間設定や、2車線暫定整備後に4車線整備する区間設定とした。分析の結果、後者の区間設定が提案モデルによる整備順序にのみ含まれていた。これは、まず2車線暫定整備でネットワーク化を図った上で、その後需要に応じて4車線化を行うという実務的にしばしば現れる経験則を合理化する結果である。提案モデルを利用することによって、同種の経験則に基づく整備順序のうち、数理的な検証を得たアカウントビリティの高い区間設定と整備順序を選択できることが明らかとなった。

第7章と第8章では、実際の道路ネットワークを対象に、提案モデルを適用し実証分析を行った。

第7章では、道路事業評価において、道路整備に伴う誘発交通を考慮する方法として、新たな交通需要予測モデルを提案した上で、誘発交通を加味した便益計測方法について、その妥当性を検証した。実道路ネットワークには、中国地方の平成17年、平成22年の道路交通センサスデータを用いた。誘発交通を加味した交通需要予測モデルは、買物交通を対象として、分布交通量予測モデルの効用関数に、ゾーン間の商業施設ポテンシャルを導入することで表現した。なお、商業施設ポテンシャルは、目的地側の大規模小売店舗の売場面積を、出発地から目的地までの移動時間で除した値とした。これにより、道路整備によって遠方の商業施設の魅力を享受しやすくなる効用を表現でき、実際に発生している道路整備後の買物交通の遠方化と、整合した予測が可能となった。さらに前章までと同様の考え方に基づいて、発生ゾーンごとに算出される期待最小費用を用いて、整備順序の便益を計測したところ、OD交通量固定の従来手法と比較して、約2割便益が増加するという試算が得られた。誘発交通の便益は、実務上ではしばしば現れる現象であるにも関わらず、従来は計測されることが少なかったが、提案モデルによってその便益を計測可能なことが明らかとなった。しかし一方で、誘発交通予測モデルの現況再現性には一部課題が残り買物トリップの行動メカニズムが十分明示されたとは言えなかった。そこで引き続き、次章において、買物交通においてゾーン内周遊が発生する場合を想定して、誘発交通モデルの拡張を試みることにした。

第8章では、分布交通量予測モデルの効用関数を第7章から更新して、目的地施設の魅力を集積の効果として導入した。集積の効果の表現は、空間経済学において成果が見られる定式化を採用して、多種の施設が集積する地域ほど魅力が高いことを表現している。本研究では、商業施設の産業分類別売場面積を説明変数として定式化した目的地選択モデルのパラメータを実データに基づいて推計したところ、符号条件と統計的な安定性を満たす良好な結果を得た。また、目的地施設の魅力度のほか、出発地周辺では所要時間に起因する不効用が起らないエリアが存在することを表現する時間バッファを導入し、同パラメータ

についても良好な結果を得た。これにより買物交通に関する誘発交通量予測モデルとして、トリップメーカーの行動メカニズムに集積の多様性による魅力度を加えることに関して、一定の妥当性を有するモデルの定式化が提案できたと考えられる。また、推定したモデル式を適用して、広島県地域における実際の道路事業を対象に、提案モデルによる動的評価の有効性を実証分析した。その結果、提案モデルにより算出される整備順序は、地域の交通状況を踏まえた適正な順序であるとともに、その総純便益は、実際の整備順序による値よりも高く、提案モデルによる動的評価の有効性が示された。

9.2 提案モデルの実務への適用

(1) アウトカム指標達成のための地域道路ネットワーク計画への適用

地域道路ネットワーク計画では、その完成によって達成される地域の将来的サービス水準を設定した上で、その要求を達成するための道路ネットワーク計画を検討することが多い。具体的には、拠点間のアクセス時間などについて、“平均何分以内に到達できる”等のアウトカム目標を設定することが多い。本研究の提案モデルでは、予算制約やアウトカム目標といった制約条件下での複数道路事業に関する事業採択等の事業評価が可能であり、上述した計画上の要請に対応できる。なお制約条件の設定に関しては、例えば予算制約について数事業しか実施できない少額な予算を設定した場合、アウトカム目標の達成が不可能になるケースや、整備順序の組み合わせが少なくなり十分な最適解が得られないケースなどが発生する可能性があるため、妥当な設定に十分留意する必要がある。提案モデルによって、具体的には、県・市等の自治体レベルの道路ネットワーク計画や都市計画道路の見直し計画への適用が想定される。

(2) 道路整備計画への適用

道路整備計画・実施計画は、ある計画期間の道路整備順序を計画するものであり、限られた予算フレームの中で、設定したアウトカム目標を実現し、地域として最も効率的・効果的な整備順序を求めることが望ましい。提案モデルは、多くの候補事業の中から実施すべき事業を選別するとともに、長期的に最適な整備順序が得られる道路ネットワーク評価手法である。ただし、その際の評価指標としては、本研究で対象としたNPVだけではなく、防災面への貢献、観光

面への貢献等，各分野・施策への貢献度などの政策的な指標が要請されることもある．このような多基準分析的な評価の場合は，最も重要な指標を目的関数とする一方で，その他の指標は制約条件として設定するなど，適用にあたって工夫が必要である．また本研究では遺伝的アルゴリズムにおいて多くの解候補を生成し，その中から総純便益が最も高い最適解のみを採用したが，実務においては，最適解に拮抗する総純便益を与える解（以下，代替案と呼ぶ）の情報を活用することも有効と考えられる．すなわち，最適解だけでなく代替案の整備順序を比較することで，常に上位に位置する事業の特定や，工事進捗の思わしくない事業の影響の程度などの把握が可能となり，実務での整備計画検討において，検討の幅を広げるとともに決定のための判断材料として活用できると考える．提案モデルを適用する計画としては，県・市等の自治体レベルの道路整備計画が想定される．

(3) 拡張便益計測手法としての誘発交通便益の考慮

提案モデルは，従来の事業評価で実施しているOD交通量固定の便益計測ばかりでなく，誘発交通を考慮した便益計測が可能であり，その方法も，従来の費用便益分析マニュアルの拡張として整合的に設計している．具体的には，提案モデルの分布交通量予測モデルの効用関数に設定した，目的地施設の魅力度を表す集積の効果の項と，ゾーン間所要時間に関する時間バッファを除くと，従来の一般化費用式と同じとなる．すなわち，提案モデルで計算された便益から，従来手法により算出された便益を差し引くことで，誘発交通による便益が得られる．実務適用の具体的な例示としては，中山間地のような交通需要が少ない地域の道路事業評価における拡張便益の計測が想定される．

9.3 今後の研究課題

(1) 経済均衡モデルによる事業評価との棲み分け

提案モデルは，従来の費用便益分析マニュアルの流れに従った，発生サイドの便益計測手法である．第2章でも整理したように，費用便益分析マニュアルで採用されている時間価値原単位は，“各市場（財・サービス市場，労働市場，自動車運送サービス市場等）は完全競争的であり，各市場における需要と供給は長期的に均衡している”という前提条件のもとで設定されており¹⁾，完全競争

の下では、発生ベースの便益と、最終的に家計や企業に帰着する便益が等しくなることが明らかにされている。

一方、道路整備等の交通インフラ事業の効果が、交通市場外にも波及することを想定した帰着サイドの便益計測手法も、近年では実務での適用が増えている。その代表的な手法として、応用一般均衡モデル（CGE）、および空間応用一般均衡モデル（SCGE）等があげられる^{2,3,4)}。

両者（発生サイド、帰着サイド）のアプローチの適否は、ケース・バイ・ケースである。応用一般均衡アプローチは、県間にまたがるような広域幹線道路など、比較的大規模で波及効果の大きいプロジェクトについて有力だが、主に県別に整理されている産業連関表をベースとしている関係で、都市間や都市内バイパスといった道路事業に適用するには、計算のベースとなる産業連関表を地域的に細分化する必要や、CUEモデルの理論的な整合性を確保するなどの課題が残る。むしろ都市内バイパス等の交通市場外への波及効果が比較的小さい道路事業については、消費者余剰アプローチが有力である。

また、応用一般均衡モデルは、交通インフラ事業等に伴う波及効果を、対象とするゾーンごとに設定した企業活動や物流等の企業間取引に関わる多市場の一般均衡として定式化している。したがって本研究で対象とする消費者が施設へアクセスする行動に関するOD交通量の変化や便益計測については、分析フレームの大幅な変更などの工夫が必要である。一方で提案モデルは、帰着ベースの便益こそ分析することはできないものの、従来の費用便益分析と整合的な点や、道路整備に伴う消費者の交通行動の変化、およびその便益計測を発生ベースの便益に基づいて計測可能な点などにおいて、有効と考えられる。

さらに提案手法は、部分均衡モデルという限界を有してはいるものの、動的な評価面では明確な利点を有している。今後、道路事業評価を行うにあたっては、両手法による分析結果の違いを比較するなどして、それぞれに適した適用場面を検討する必要がある。

（2）誘発交通予測モデルの拡張

本研究では、道路整備に伴う誘発交通に関わる便益計測の重要性を踏まえて、交通需要予測モデルにおいて、誘発交通が予測できる手法を提案した。消費者余剰アプローチで得られる投資便益額の近似的値は、交通市場外への波及効果の計測に関連して課題を有することが知られているが、一方で、「その近似誤差はわずかであり、利用する将来交通量などのデータが正確であれば、相当正確な便益計測を行うことができる」との指摘⁵⁾もある。すなわち、消費者余剰ア

プローチによる便益分析の信頼度は、将来交通量を波及効果を含めていかに正確に予測できるかにかかっていると考えられる。

ただし提案した誘発交通の予測モデルは、買物交通を対象にしている。よって今後は、その他の目的交通に関する適切な定式化や、予測精度の高度化に向けた拡張等が重要である。第8章の実証分析の対象とした買物交通は、平成22年度の中国地方の全交通量に占める割合は10%程度であり、道路整備による便益を網羅しているとは言えない。今後は、業務目的交通、私用目的交通等のその他の目的についても、トリップ目的に応じた施設データを入手するとともに、集積の効果を表現する必要性を踏まえたモデルの拡張が必要である。

(3) 人口変化等の社会経済フレームの反映

本来、交通インフラ事業等の社会資本整備は、地域の人口分布や土地利用についても影響を及ぼすが、本研究では、人口・土地利用の変化については、予測対象としなかった。これは、人口・土地利用は、道路整備だけで変化するものではなく、住宅団地や産業・物流団地等の団地開発と一体となって変化すると考えるほうが現実的であるものの、そのような土地利用に関わる開発案件の予測は非常に困難なためである。このうち提案モデルにおいては、施設整備については、ある程度議論可能なことを示した。

開発案件について実務では、将来の開発計画を関係機関へヒアリングした後、将来人口や将来OD交通量といった形で、将来フレームとして交通需要予測に反映している。それを踏まえると、提案モデルにおいても、将来人口や将来開発計画といった将来の社会経済フレームを外生変数として反映する方法が考えられる。具体的には、発生交通量モデルの説明変数において、地域全体の将来人口フレームを年次別に反映する等の方法が考えられる。この方法でシミュレーションを行うことにより、実務における将来フレームとの整合性を図ることが可能となる。なお実務的には、土地利用と交通を統合したCUEモデルとの優劣比較や統合モデルの開発についても、検討する必要がある。

(4) 事業費算定に関わる現実的な設定への拡張

本研究における各事業の年次別投資額は、提案した事業コスト関数にしたがって、事業費規模に応じた投資期間を算出した後、投資期間内を均等割りにより算出している。ただし実際の年次別投資額は均等割りとなることはほとんど

なく、さらに各年次投資額を現在価値化して総純便益を計算するため、年次別投資額の算定結果は少なからず評価値である総純便益に影響する。本研究では、この点については算出上の限界とした。すなわち、現実の年次別投資額は、詳細設計や用地買収、工事などの様々な工程がある上、用地買収や工事は地元住民等の協力如何によって進捗に大きく影響するため、簡略的な定式化では、現実の反映が困難であると判断した。しかしながら、年次別投資額が評価値に影響すること、また用地買収困難等の事業遅延は現実的に発生することを踏まえると、今後、年次別投資額の算出方法について、事業進捗に関わる変数の追加等の拡張が必要である。

第9章の参考文献

- 1) 道路事業の評価手法に関する検討委員会：時間価値原単位および走行経費原単位の算出方法，第4回道路事業の評価手法に関する検討委員会参考資料1，2008. 11. 25.
- 2) 山崎清，武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析，運輸政策研究，Vol.11，No.2，2008.
- 3) 宮城俊彦：独立した輸送部門をもつSCGEモデルによる高速道路の経済効果評価，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.68，No.4，pp.291-304，2012.
- 4) 佐藤啓輔，小池淳司，川本信秀：空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路・港湾整備の効果分析，土木学会論文集D3(土木計画学) Vol.69，No.5，pp.283-295，2013.
- 5) 建設省建設政策研究センター：交通ネットワーク形成効果に関する研究，2000.

謝辞

本論文の執筆に際しては、数多くの方からご指導、ご支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。

広島大学大学院国際協力研究科教授 藤原章正先生には、遡れば学部生時代、修士課程時代の指導教官として、そして社会人ドクターとして再び博士課程に入学して以来は本論文の主査として、長年に渡って、終始暖かいご指導、ご助言をいただきました。藤原先生のご指導なしにはこの学位論文の完成を見ることはなかったと思います。心より深甚なる感謝の意を表します。

広島大学大学院工学研究院准教授 塚井誠人先生には、本論文の副査として、研究の方向性などについて多数のご教示をいただいたのみならず、研究方法、分析手法の考え方について、さらには本論文の細部に至るまで数多くのご指導、ご助言をいただきました。また海外での論文発表について貴重な経験をさせていただいたことは大変良い思い出です。心より感謝の意を表します。

本論文の副査は4人の先生方にご快諾いただきました。広島大学大学院国際協力研究科教授 張峻屹先生には、本論文で提案したモデル式に関して、特に骨格となる交通需要予測モデルについて、有益なご意見をいただくとともに、論文全般に渡って多数のご助言をいただきました。広島大学大学院国際協力研究科教授 金子慎治先生には、環境経済学の立場から、事業費の投資評価に関わる留意点など、多くのご助言をいただきました。東京工業大学大学院理工学研究科教授 朝倉康夫先生には、本論文全般に関わる貴重なコメントをいただくとともに、実務適用への発展の方向性について大変有益なご助言をいただきました。本論文の審査員を第一線でご活躍されている先生方にお引き受けいただき、またご意見をいただけたことは大変嬉しくありがたいことです。

また、本論文を進める上で、(株)福山コンサルタントの末成浩嗣君、川村宏範君、板倉直子さん、広島大学の高田康平君には、データ整理、数値計算、論文作成に多大なご協力をいただきました。心より感謝いたします。

最後に、学位取得の機会を与えていただいた福山コンサルタント、そして中四国支社の方々、いつも心の安らぎと元気を与えてくれた妻と娘に、心より感謝いたします。

平成 26 年 8 月

小笹 俊成